

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA VEGETAL E
BIOPROCESSOS

DISSERTAÇÃO



GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS NO
BRASIL: POTENCIALIDADES DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E
DA LOGÍSTICA REVERSA

EDUARDO FONTE DOS SANTOS MAIA

RIO DE JANEIRO - RJ

2023

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS NO
BRASIL: POTENCIALIDADES DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E
DA LOGÍSTICA REVERSA**

Eduardo Fonte dos Santos Maia

Defesa de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Vegetal e Bioprocessos, Centro de Ciências da Saúde, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em biotecnologia vegetal e bioprocessos.

Orientador: Alex Enrich Prast

Co-orientadora: Cristiane Fonseca Caetano da Silva

Rio de Janeiro

Julho de 2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este espaço para expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado e contribuíram de forma significativa para a realização desta dissertação de mestrado.

Primeiramente, à Universidade Federal do Rio de Janeiro e aos seus professores e funcionários, agradeço pela infraestrutura e recursos disponibilizados, que foram essenciais para a realização da pesquisa.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à empresa Pólen e ao CNPq pela oportunidade única de participar do Programa MAI/DAI. Esta iniciativa inovadora, voltada para projetos de pesquisa aplicados à realidade e às necessidades do setor de gestão de resíduos brasileiro, tem sido uma experiência enriquecedora.

À minha família, em especial aos meus pais, Cláudia e Lauro, pelo amor, apoio e incentivo incondicionais ao longo de toda a minha jornada acadêmica. Obrigado por nunca terem desistido de mim, sem vocês eu não teria chegado até aqui.

À minha namorada, Isabella, por todo amor e companheirismo essenciais durante esse período, seu constante encorajamento foi fundamental para superar os desafios e alcançar esta etapa importante.

Ao meu orientador, Alex, pela oportunidade, à minha coorientadora Cristiane, pela orientação, apoio, valiosos insights e incentivo ao longo de todo o processo de pesquisa.

Aos demais membros da banca avaliadora, agradeço pela disponibilidade em avaliar e contribuir para o aprimoramento deste estudo. Suas sugestões e comentários foram de grande relevância para a qualidade final da dissertação.

Por fim, agradeço aos meus colegas da CPE, Douglas e Michelle, por sua compreensão e apoio durante minhas ausências, permitindo-me concluir este trabalho de maneira mais eficiente.

Que este trabalho possa trazer contribuições significativas e ser um ponto de partida para futuras pesquisas e avanços na área.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

No contexto brasileiro, a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma questão crucial para mitigar impactos ambientais e de saúde pública. No âmbito da disposição final dos RSU, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece acordos setoriais para compartilhar responsabilidades ao longo do ciclo de vida do produto. Uma revisão sistemática de artigos científicos de 2002 a 2021 revelou desafios e oportunidades na gestão de resíduos recicláveis. A pesquisa evidenciou que as regiões Sul e Sudeste lideram em pesquisas sobre tecnologias de gerenciamento, principalmente abordando a mistura de resíduos da construção civil. Além disso, a eficácia da logística reversa e tecnologias de tratamento foi explorada, com análise dos principais Sistemas de Logística Reversa implantados, bem como suas potencialidades e desafios. Embora existam tecnologias avançadas para a disposição ambientalmente correta, a falta de regulamentação setorial e financiamento para infraestrutura dificultam sua implementação. Em resumo, a gestão de resíduos sólidos no Brasil enfrenta desafios complexos que vão desde a coleta eficaz até a disposição final adequada. A pesquisa destaca a necessidade de regulamentação abrangente e investimentos para promover práticas sustentáveis de gerenciamento de resíduos, visando mitigar impactos ambientais e avançar em direção a um futuro mais resiliente. Assim, é esperado que este trabalho ofereça elementos para fomentar a discussão acerca da gestão integrada de resíduos sólidos em âmbitos acadêmicos, de maneira apropriada e ética.

ABSTRACT

In the Brazilian context, the management of municipal solid waste (MSW) is a critical issue for mitigating environmental and public health impacts. In the realm of the final disposal of USW, the National Solid Waste Policy establishes sectoral agreements to share responsibilities throughout the product life cycle. A systematic review of scientific articles from 2002 to 2021 revealed challenges and opportunities in the management of recyclable waste. The research highlighted that the South and Southeast regions lead in research on management technologies, primarily addressing the blending of construction waste. Furthermore, the effectiveness of reverse logistics and treatment technologies was explored, with an analysis of the main implemented Reverse Logistics Systems, as well as their potentialities and challenges. Although advanced technologies exist for environmentally sound disposal, the lack of sectoral regulations and financing for infrastructure hinders their implementation. In summary, solid waste management in Brazil faces complex challenges ranging from effective collection to proper final disposal. The research underscores the need for comprehensive regulation and investment to promote sustainable waste management practices, aiming to mitigate environmental impacts and advance towards a more resilient future. Thus, it is expected that this work provides elements to foster discussions on integrated solid waste management in academic contexts, in an appropriate and ethical manner.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1. Tipos de Resíduos	15
1.1.1. Agrícola	16
1.1.2. Industrial	17
1.1.3. Urbano	17
1.2. Tipos de Tratamento	18
2. OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo Geral	21
2.2 Objetivos Específicos:	21
Capítulo 1	22
5. PANORAMA ATUAL DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL: GERAÇÃO E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO	22
5.1. Resumo	22
5.2. Abstract	23
5.3. Introdução	23
5.4. Metodologia	26
5.4.1. Revisão Sistemática	26
5.4.2. Análise cienciométrica	31
5.5. Resultados e Discussão	31
5.5.1. Número de citações e fator de impacto das revistas e periódicos por tratamento	31
5.5.2 Número de artigos por estado	35
5.5.3 Número de artigos publicados por método de tratamento	36
5.5.4 Produtos obtidos pelos diferentes métodos de tratamento	41
5.6. Conclusão	43
5.7. Referências	44
5.8. Anexos	48
Capítulo 2	49
6. ANÁLISE DA EFICÁCIA DA LOGÍSTICA REVERSA E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL	49
6.1 Resumo	49
6.2 Abstract	50
6.3 Introdução	51
6.4 Metodologia	52
6.5 Resultado e Discussão	53
6.5.1. Estruturas Regulatórias da Logística Reversa	53
6.5.1.1. Política Nacional de Resíduos	53
6.5.1.2. Acordos Setoriais	54
6.5.2. Principais Sistemas Logística Reversa	55
6.5.2.1. Embalagem em geral	55

6.5.2.2. Embalagens de defensivos agrícolas	56
6.5.2.3. Embalagens de óleos lubrificantes	57
6.5.2.4. Lâmpadas fluorescentes	57
6.5.2.5. Equipamentos eletroeletrônicos	58
6.5.2.6. Baterias de Chumbo-Ácido	59
6.5.2.7. Pneus inservíveis	60
6.5.2.8. Medicamentos	61
6.5.3. Desafios de implementação dos SLR	61
6.6 Conclusão	64
6.7 Referências	65
7. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	69
8. REFERÊNCIAS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caracterização e classificação dos resíduos sólidos.	15
Figura 2. Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados por país (quilogramas/capita/dia).	23
Figura 3. Código de filtro de buscas utilizado na base <i>Scopus</i>	25
Figura 4. Fluxograma dos processos de inclusão e exclusão dos artigos.	29
Figura 5. Números de artigos sobre tratamento de resíduos por estado brasileiro no período de 2002 a 2021.	35
Figura 6. Quantidade de artigos publicados por métodos de tratamento de resíduos sólidos no período de 2002 a 2021.	37
Figura 7. Principais tecnologias de tratamento estudadas nos trabalhos científicos.	39
Figura 8. Fluxograma da matriz de tratamentos de resíduos a partir das três principais vias de tratamento.	40
Figura 9. Produtos obtidos através dos tratamentos analisados.	42
Figura 10. Gravimetria dos materiais recuperados pelos programas de logística reversa de embalagens em geral no ano de 2020 (t/ano e %).	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados, a quantidade de RSU coletado e o índice de cobertura no Brasil e regiões.	24
Tabela 2. Exemplificação da tabela de coleta de dados gerada.	28
Tabela 3. Fator de impacto das revistas e número de citações dos periódicos de acordo com as principais tecnologias de tratamentos.	31
Tabela 4. Número de municípios por tipo de disposição final de resíduos sólidos e recursos aplicados no Brasil por região. (Disposição adequada = aterros sanitários, e disposição inadequada = aterros controlados e lixões).	36
Tabela 5. Principais tecnologias de tratamento estudadas nos trabalhos científicos publicados no Brasil durante o período de 2002 a 2021.	48
Tabela 6. Principais dispositivos legais que regulamentam a gestão de resíduos sólidos no Brasil.	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DA	Digestão anaeróbica
GAP	Grupo de Monitoramento de Desempenho
GEE	Gases efeito estufa
NBR	Norma técnica brasileira
OLUC	Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados
PEV	Pontos de Entrega Voluntária
PGRS	Programa de Gestão de Resíduos Sólidos
Planares	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SLR	Sistema de logística reversa
WtE	Waste to Energy

1. INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial alcançou a marca de oito bilhões de habitantes em meados de novembro de 2022, de acordo com a estimativa feita pelo Departamento das Nações Unidas para Assuntos Econômicos e Sociais (ONU, 2022). Influenciado pelo crescimento populacional, o consumo de bens e serviços se torna cada vez mais elevado. A cultura do consumismo na qual está inserida a nossa sociedade nos colocou frente a um dos maiores desafios modernos: o desenvolvimento sustentável.

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu na década de 1980, cunhado pela primeira-ministra norueguesa, Gro Harlem Brundtland, a partir da elaboração do relatório *Our Common Future*, como a busca por um equilíbrio entre a satisfação das necessidades humanas das atuais e futuras gerações, por meio da conservação dos recursos naturais e a melhoria das condições de vida das comunidades (ESTENDER, 2008). Posteriormente, o conceito foi reforçado junto à elaboração da Agenda 21, em 1992, tendo diferentes pesquisas sendo realizadas para encontrar princípios, metodologias e ferramentas de avaliação que pudessem contribuir para reverter os processos de degradação ambiental proporcionadas pela destinação incorreta dos resíduos sólidos (MALHEIROS, 2004).

Nesse contexto, a biotecnologia emerge entre as tecnologias que apresentam potencial para contribuir para o desenvolvimento sustentável, sendo esta uma área de estudos multidisciplinares que se baseia em conhecimentos da biologia, química, engenharia e outras ciências para criar soluções inovadoras (SCHENBERG, 2010). Ainda, de acordo com Vásquez (2008), a importância da biotecnologia reside em seu potencial para melhorar a qualidade de vida, impulsionar o desenvolvimento econômico sustentável e enfrentar desafios globais nas áreas da saúde, alimentação, energia e meio ambiente.

Em conformidade com estimativas da ISWA (2015) - Associação Internacional de Resíduos Sólidos, o custo do não planejamento da gestão de resíduos é de três a cinco vezes maior do que a quantia necessária para investimento e gerenciamento de soluções adequadas. Destinar os resíduos sólidos urbanos, de forma inadequada, em lixões e aterros controlados, têm impactos significativos nas condições ambientais, pois são fontes contínuas de poluição hídrica, do solo, da fauna, da flora e emissão de gases de efeito estufa (ABRELPE, 2022).

Segundo o relatório publicado pelo Banco Mundial (2018), apenas 40% dos resíduos sólidos gerados no mundo são destinados a aterros sanitários, aproximadamente. Entretanto, os lixões a céu aberto são responsáveis por receber 30% de todos os resíduos gerados no mundo. A crescente geração de resíduos, desacompanhada de medidas públicas necessárias para a destinação ambientalmente correta, ocasiona problemas como o entupimento de bueiros, e conseqüentemente, provoca enchentes e dissemina doenças, sendo assim, associados ao desequilíbrio sanitário (SOUZA, 2015).

A decomposição de resíduos a céu aberto resulta na liberação de metais pesados e outras substâncias tóxicas no solo por meio do chorume, impedindo a estabilização adequada do solo e modificando as suas características estruturais. Além disso, o chorume contribui para a contaminação da água, desde pequenos riachos e lençóis freáticos, tornando-a inadequada para consumo humano, animal e vegetal (EFING, 2020). Ainda, a emissão de gases e sua liberação na atmosfera contribuem para o efeito estufa, além de causar desconforto e afetar negativamente a qualidade de vida da população local (SANTAELLA *et al.*, 2014).

Estima-se que, a cada ano, mais de 25 milhões de toneladas de lixo são despejados nos oceanos em todo o mundo (ABRELPE, 2021). O Brasil abrange grandes extensões costeiras e possui uma densa rede de rios, o que o torna suscetível à poluição marinha. Segundo o guia Lixo Fora D'Água, publicado pela Abrelpe (2020), estima-se que o país contribua com cerca de 2 milhões de toneladas de resíduos sólidos, que descem rios e acabam atingindo o mar, todos os anos. Estes resíduos são provenientes das atividades humanas nos continentes, tanto na costa quanto em regiões que têm rios que deságuam em ambientes marinhos.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), os aterros sanitários são a alternativa para a disposição final ambientalmente adequada, pois estes distribuem de forma ordenada os rejeitos, estando em consonância com normas operacionais próprias a fim de evitar danos à saúde pública, à segurança e atenuar os diferentes impactos ambientais (BRASIL, 2010). Já a disposição dos resíduos em lixões a céu aberto ou em aterros controlados não exige quase nenhum preparo do solo para receber o material. O resíduo é depositado e exposto a céu aberto, sem nenhum tipo de tratamento, emitindo o gás metano (CH₄), produzido na decomposição, agravando o efeito estufa, e o chorume, possibilitando a contaminação de ar, solos e corpos hídricos (SEMAGEO, 2018).

Em comparação com os países desenvolvidos, os cidadãos dos países em desenvolvimento, especialmente as populações pobres dos perímetros urbanos, são mais severamente impactadas por resíduos gerenciados de forma insustentável. O Brasil possui 62,9 milhões de pessoas que estão na faixa da pobreza, com renda domiciliar per capita de até 497 reais mensais, o que corresponde a cerca de 29,6% da população total do país. Em países de baixa renda, devido as condições viáveis socioeconômicas e tecnológicas dos governos e da iniciativa privada, mais de 90% dos resíduos são frequentemente descartados em lixões não regulamentados ou queimados a céu aberto, alarmando o atual cenário brasileiro de disposição e tratamento de resíduos (NERI, 2022).

O preocupante quadro quanto ao tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos no Brasil é efeito da escassez de recursos dedicados ao setor, e da desordenação e descaso das administrações municipais, somados à carência de cobrança por parte da sociedade. As mudanças de percepção da relação sociedade-resíduo são capazes de suceder de forma impositiva, por meio de ferramentas de comando para aplicação da lei, ou de forma econômica, através de imposição de taxas, ou ainda, mediante a trabalhos de educação ambiental (MARCHEZETTI *et al.*, 2011).

A tentativa da erradicação dos lixões no Brasil acontece desde 2010, quando foi instituída a PNRS, decretando também que a responsabilidade da gestão de resíduos sólidos deve ser de maneira compartilhada por fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e cidadãos. Além disso, a política proíbe o despejo de resíduos ao ar livre (lixões), exceto os resíduos da mineração, os quais devem ter a disposição final apropriada. Apesar disso, a PNRS não foi implementada com sucesso devido a vários fatores, incluindo falta de prioridade no âmbito do Governo Federal, falta de mecanismos de punição ou controle e fiscalização, falha do governo em criar incentivos para o setor privado adotar a gestão do lixo comum e a logística reversa dos recicláveis e falta de capacidade de gestão do poder público (ASSAD, 2016; SOUZA, 2016).

Nesse caminho, existem novas legislações que complementam e auxiliam no cumprimento das normativas PNRS como instrumento utilizado para auxiliar o fechamento de lixões e aterros controlados, como é o caso do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), instituído por meio do Decreto Nº 11.043, de 13 de abril de 2022, representando uma estratégia de longo prazo, estabelecendo diretrizes, responsabilidades, princípios e objetivos que orientam os diversos participantes na implementação da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2022).

Ademais, o novo Marco Legal do Saneamento Básico, segundo a Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020), definiu novas regras para acabar com os lixões até 2024, e para isso, novas soluções para a coleta e o tratamento de resíduos terão de ser implementadas. A lei visa universalizar o acesso aos serviços de saneamento básico, englobando serviços de limpeza urbana. O ponto mais expressivo nesse sentido são as metas para acabar com os lixões até 2024, atualizando a meta da PNRS que previa o encerramento em 2014. Entretanto, a legislação não deixa claro como será atingido esse objetivo, uma vez que apenas permite a criação de consórcios intermunicipais para o gerenciamento do problema, levando em consideração que os municípios individualizados não conseguiam dar conta, para que estes financiem iniciativas de implantação de medidas estruturais de esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

Conforme a legislação ambiental progride, tornando as empresas cada vez mais responsáveis pelo ciclo de vida de seus produtos, há também um aumento na consciência ecológica dos consumidores que esperam que as empresas mitiguem os impactos negativos gerados por suas atividades. Sendo assim, no mercado competitivo de hoje, é inescapável para as empresas formularem planos, uma vez que as práticas "verdes" se tornaram a principal fonte de diferenciação para muitas empresas. Esta mudança para adotar uma postura social e ecologicamente responsável surgiu pela necessidade de reforçar sua marca e imagem, conquistar a fidelidade dos clientes, atrair investidores e até mesmo obter vantagens fiscais (TAVARES, 2012).

O reaproveitamento dos resíduos é imperativo para o tratamento adequado do material descartado. A logística reversa, definida por Lacerda (2002) como o fluxo inverso de gerenciamento do material produzido, do ponto de consumo até o ponto de origem, se torna ferramenta essencial para a reintrodução dos produtos na cadeia produtiva de forma rápida, menos onerosa e causando menos impacto ao ambiente, uma vez que necessita de menos (ou nenhuma) extração de recursos naturais (SOUZA, 2017).

A gestão eficiente de resíduos sólidos desempenha um papel fundamental na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e minimizando os impactos ambientais. Segundo Meireles (2023), ao adotar práticas como a coleta seletiva, reciclagem, compostagem e aterros sanitários controlados, é possível diminuir a liberação de metano proveniente da decomposição de resíduos orgânicos.

Em todo o caso, se faz clara a necessidade de eliminação dos lixões e aterros controlados, como também de conhecer a composição dos materiais descartados, a fim de explorar o potencial de reaproveitamento dos resíduos sólidos. O principal desafio, portanto, é estimar a composição de um “portfólio” tecnológico que possa tornar o aproveitamento econômico, energético ou material, dos resíduos sólidos dentro do escopo analisado. Ademais, é importante ressaltar que o reaproveitamento dos resíduos sólidos não gera apenas um benefício financeiro, transcendendo a dimensão econômica e compondo um arranjo de políticas de cunho social e ambiental.

1.1. Tipos de Resíduos

A classificação dos resíduos no Brasil é definida pela norma ABNT NBR 10.004/2004, que determina que os resíduos são classificados quanto sua periculosidade e solubilidade, como representado na figura 1. Estes são definidos como Classe I- Perigosos; Classe II - Não perigosos; Classe II A - não inertes; Classe II B - inertes. Por meio da norma é possível ter uma perspectiva a respeito dos principais impactos ambientais, sendo possível estabelecer o gerenciamento adequado destes resíduos.

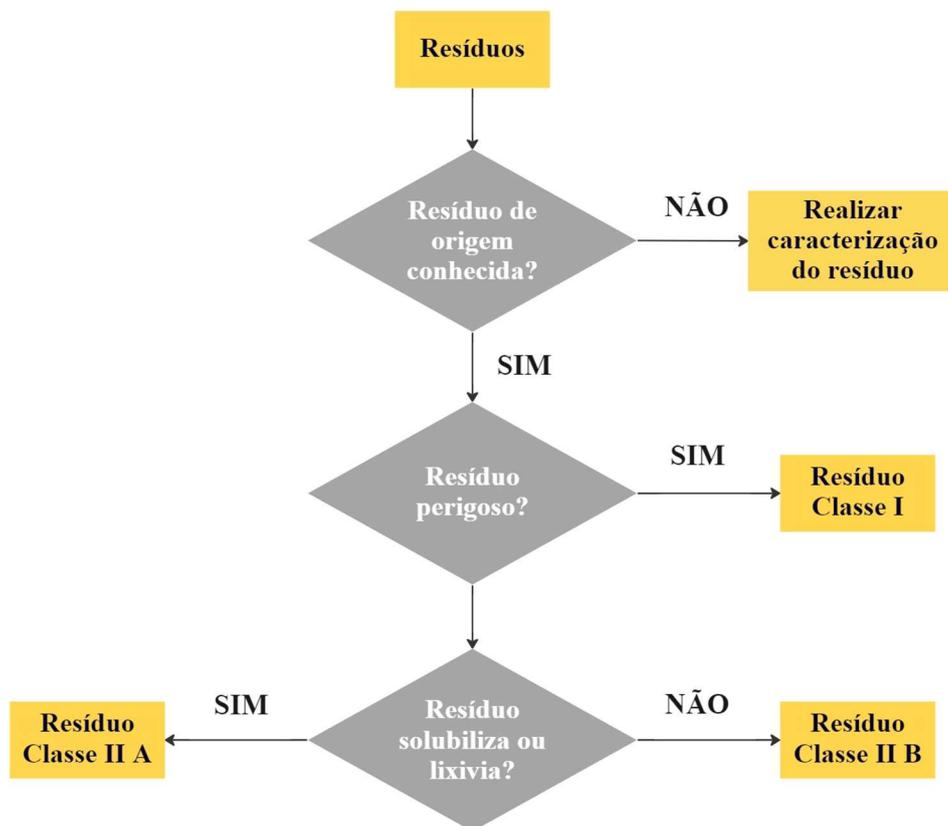


Figura 1. Caracterização e classificação dos resíduos sólidos. **Fonte:** Norma ABNT 10004.

A caracterização dos resíduos é realizada por meio da análise da composição gravimétrica, com isso, permitindo a estipulação das propriedades físicas, biológicas e químicas. Para realizar a classificação integral, de acordo com o estipulado pela normativa ABNT NBR 10.004/2004, é necessário também o conhecimento da origem do resíduo e de seus compostos para a avaliação de substâncias que possam causar impacto à saúde e ao meio ambiente.

Os resíduos podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com a sua complexidade para gestão e disposição final, como os de construção civil, hospitalares, químicos, agrícolas, industriais e de mineração, além dos domiciliares e de limpeza urbana, denominados de resíduos sólidos urbanos (RSU) (LOPES, 2018).

1.1.1. Agrícola

O Brasil é um importante país produtor agrícola, responsável pela exportação de diversas culturas alimentares, se destacando como o segundo maior exportador de grãos do mundo. Em 2020, as exportações ligadas ao agronegócio brasileiro alcançaram a marca de 37 bilhões de dólares (CANAL RURAL, 2021). Tal protagonismo na produção agrícola, associado ao investimento em práticas de maior rendimento, resultam em expressivos números de excedentes residuais. A disposição incorreta dos resíduos agrícolas pode provocar contaminação do solo, dos corpos hídricos e da atmosfera, originando distúrbios ambientais.

Segundo PEDROSA (2013), destaca-se a oportunidade da transformação de um passivo ambiental em um ativo econômico, embora a natureza poluente dos resíduos agrícolas. De acordo com estudo publicado pela Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa, Bioenergia, Bioeletricidade, Pelletes e Energias Renováveis (ABIB, 2020), estima-se que são gerados cerca de 967.005.044 mil ton/ano de resíduos agrícola, colocando-se, portanto, como um potencial provedor de matéria prima para a geração de bioenergia. Segundo AÇMA (2003), a biomassa pode ser convertida em diferentes biocombustíveis, como biogás e pelletes, por exemplo, por meio de tratamentos térmicos, biológicos ou mecânicos.

De acordo com SZYMANSKI *et al.* (2010), o biogás gerado a partir de alguns tipos de insumos vegetais, como a vinhaça (principal subproduto da indústria sucroalcooleira), apresenta potencial energético competitivo em relação a diferentes matrizes. GENTIL (2009) destaca a oportunidade de produção de briquetes e pellets a partir de serragem, cavaco, retalho de serraria e móveis, por exemplo.

Outro meio de aproveitar os resíduos gerados no setor agrícola é a sua incrementação como material de reforço para a produção de compósitos cimentícios, como relata AZEVEDO *et al.* (2020).. Enquanto PAULA *et al.*(2009) relata a possibilidade de substituição parcial do cimento Portland em argamassa. Nos dois casos, ocorre uma redução do custo do produto final, e principalmente, o tratamento adequado do resíduo e sua valorização e inserção na cadeia produtiva.

1.1.2. Industrial

As indústrias produzem quantidades relevantes de resíduos nos diferentes estágios do processo que, por muitas vezes, não têm uma destinação final adequada. Todavia, as indústrias analisam possibilidades para a disposição dos resíduos sólidos produzidos, por conta das imposições das entidades ambientais, ou então, por conta de conquistarem um aumento de credibilidade. Com isso, o reaproveitamento dos resíduos exerce um papel importante na economia de matéria-prima e na redução da degradação ambiental causada por essas indústrias (PEREIRA *et al.*, 1999).

Em conformidade com o descrito por NAUMOFF & PERES (2000), os resíduos sólidos industriais são provenientes da ação de diferentes setores da indústria, como metalúrgica, química, papelreira, entre outros, podendo obter produtos como cinzas, cerâmicas, metais, lodos, etc.

1.1.3. Urbano

No último século, o rápido crescimento mundial juntamente com o surgimento de novas tecnologias incentivou o consumo excessivo de produtos, resultando na expressiva geração de resíduos sólidos nos perímetros urbanos. De acordo com o relatório desenvolvido pela ISWA - International Solid Waste Association (2021), a produção de RSU ampliará, extrapolando a marca do ano 2016 de 2 bilhões de toneladas, chegando a

3,4 bilhões de toneladas em 2050. Levando em consideração que grande parte desse aumento se dará em países em desenvolvimento, estima-se que a geração deva triplicar. A coleta, o tratamento e a disposição final apropriada dos RSU gerados é uma necessidade sanitária, bem como uma problemática a ser resolvida pelos governantes.

A maior parte dos resíduos sólidos recicláveis é gerada em áreas urbanas devido à concentração de população, comércio e serviços nesses locais (ABRELPE, 2021). Alguns autores, como por exemplo, Faria (2002), conceituam os RSU como resíduos domésticos, de limpeza urbana (parques, praias, ruas, dentre outros espaços públicos), resíduos de poda de árvores e jardins, entulho de obras de pequeno porte, resíduos advindos de feiras livres, lojas de comércio em geral e restaurantes.

A carência de aplicação de recursos no setor de limpeza urbana e disposição de resíduos sólidos reflete diretamente nos resultados observados de má gestão dos RSU. Com isso, apesar das leis e marcos regulatórios na área, a quantidade de RSU que é encaminhada para disposição inapropriada segue crescendo, indicando a falta de prioridade para o assunto e a escassez de recursos destinados ao tratamento desses resíduos (ABRELPE, 2021).

Estudar e entender a composição dos RSU coletados, por meio de análise gravimétrica e volumétrica, permite dimensionar a variedade de materiais encaminhados para os aterros, a fim de determinar a vida operacional do local. É possível também estabelecer indicadores de influência da economia e da demografia, levando em consideração que a disposição de resíduos tem relação direta com o processo de aquisição e consumo de bens e produtos, e o potencial de geração de energia por meio da utilização dos gases de aterro provenientes da decomposição do material (MARIANO, 2007).

1.2. Tipos de Tratamento

O crescente dilema acerca do tratamento e destinação de resíduos estimularam pesquisas sobre o potencial de utilizar tecnologias adequadas para obtenção de subprodutos de resíduos sólidos. São necessárias mudanças de paradigmas da sociedade para trilhar o rumo para a sustentabilidade local e global, demandando práticas individuais e coletivas adequadas a partir dos próprios resíduos gerados (LUZ, 2015).

A literatura mundial de estudos relacionados ao potencial energético, econômico e ambiental dos resíduos sólidos é rica, entretanto, o caso brasileiro é diferente, poucos são os trabalhos com dados de viabilidade econômica prática. O estímulo à variabilidade da matriz de gestão de resíduos sólidos brasileira é imprescindível, tendo em vista que os resíduos sólidos, quando adequadamente tratados, tem uma grande colaboração para a inclusão social e saúde pública.

Métodos que utilizam da biotecnologia desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de métodos e tecnologias de tratamento de resíduos sólidos, oferecendo alternativas mais eficientes e sustentáveis em comparação aos métodos convencionais. Através do uso de microrganismos, enzimas e processos biológicos, a biotecnologia permite a degradação e transformação dos resíduos sólidos de maneira mais rápida e eficaz (SCHENBERG, 2010). A compostagem é um exemplo de tecnologia biotecnológica utilizada para o tratamento de resíduos orgânicos, em que microrganismos são empregados para decompor a matéria orgânica, produzindo um composto rico em nutrientes para uso agrícola. Essas abordagens biotecnológicas apresentam vantagens significativas, como a redução da quantidade de resíduos, a diminuição da geração de poluentes e a possibilidade de recuperação de materiais valiosos, a geração de gases biocombustíveis a partir dos resíduos (VICTORINO *et al.*, 2016).

O tratamento mecânico tem como finalidade reduzir e/ou compactar os resíduos para a recuperação do material. Os resíduos são transformados em material secundário por meio de fracionamento, mistura e agregação, e quando retornam à cadeia de produção economizam energia, reduzem emissões de gases efeito estufa (GEE), evitam a extração de novos recursos naturais e geram empregos e renda necessários para a inclusão social (LINO; ISMAIL, 2017).

Além da economia operacional que a gestão do material reciclado gera, é possível aproveitar também a matéria orgânica descartada. Diversos tratamentos bioquímicos buscam o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos de diferentes fontes, como por exemplo, chorume advindo do lixo, esgoto, esterco bovino ou suíno e óleo vegetal, a partir da degradação anaeróbia realizada em biorreatores (FIRMINO, 2018; PAZZINI, 2014).

As tecnologias de tratamento térmico de resíduos sólidos para a geração de energia incluem combustão, gaseificação, incineração e pirólise, que visam a redução do volume e massa do resíduo por meio de sua oxidação completa, produzindo calor, energia e gases

combustíveis (LINO; ISMAIL, 2018). Essas tecnologias têm se mostrado promissoras no gerenciamento de resíduos sólidos, oferecendo uma alternativa sustentável ao descarte convencional em aterros sanitários e contribuindo para a transição para uma economia circular e de baixo carbono.

Diversos autores como Dalmo *et al.* (2019) propõem diferentes estratégias com métodos de tratamento, misturando variadas tecnologias de tratamento que propõem a eficiência energética-ecológica a partir de sistemas híbridos. Países como Alemanha e Suécia atenuaram a dependência de aterros, realizando combinação de diferentes métodos de tratamento. Como por exemplo, a reciclagem com tratamentos biológicos, como compostagem e digestão anaeróbica, em conjunto com a conversão térmica em energia (EEA, 2016), contribuindo para a redução das emissões de GEE.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste em caracterizar a gestão de resíduos sólidos recicláveis no Brasil entre 2002 e 2021, elencando quais os desafios e potencialidades das tecnologias de tratamento e da logística reversa.

2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar uma análise cientométrica a partir dos artigos de tratamento de resíduos sólidos recicláveis selecionados na revisão sistemática;
- Caracterizar as tecnologias de tratamento utilizadas para diferentes tipos de resíduos, bem como analisar suas potencialidades e entraves.
- Analisar os dispositivos regulatórios da logística reversa; e
- Traçar um panorama dos principais Sistemas de Logística Reversa (SLR) empregados no Brasil.

Capítulo 1

5. PANORAMA ATUAL DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL: GERAÇÃO E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

5.1. Resumo

O Brasil gerou por volta de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2022, sendo que "apenas" 76,1 milhões de RSU são coletados, apresentando 93% de taxa de cobertura de coleta. Isto leva a uma alta taxa de descarte inadequado, resultando em sérios impactos ambientais e de saúde pública. Uma revisão sistemática de artigos científicos publicados em revistas indexadas na base de dados Scopus, para os períodos entre 2002 e 2021, para avaliar a gestão de resíduos sólidos recicláveis no Brasil e avaliar as dificuldades e oportunidades de implementação dos diferentes métodos de tratamento. Além disso, foram realizadas análises bibliométricas e cientométricas a fim de proporcionar uma visão abrangente da pesquisa, voltada para a disposição responsável dos resíduos, destacando as tecnologias e técnicas de tratamento mais proeminentes empregadas de acordo com a importância dos artigos analisados. Destaca-se que o estudo cientométrico possibilitou observar que a maior parte das pesquisas sobre novas tecnologias e práticas eficazes de gerenciamento de resíduos é realizada principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Ademais, a análise dos artigos da revisão sistemática demonstrou o número de artigos por método de tratamento de resíduos, sendo a mistura a abordagem predominante no Brasil devido aos altos níveis de resíduos da construção civil e demolição, bem como seus custos de implementação relativamente baixos.

Palavras-chave: gestão de resíduos sólidos, tecnologias de tratamento, revisão sistemática, análise cientométrica, resíduos sólidos recicláveis.

5.2. Abstract

Brazil generated around 81 million tonnes of solid urban waste (RSU) in 2022, of which "only" 76.1 million RSU were collected, presenting a 93% waste collection coverage rate. This leads to a high rate of inadequate disposal, resulting in serious environmental and public health impacts. A systematic review of scientific articles published in Scopus indexed journals, for the periods between 2002 and 2021, was conducted to assess the management of recyclable solid waste in Brazil and to evaluate the difficulties and opportunities for implementing the different treatment methods. Moreover, bibliometric and scientometric analyses were carried out in order to provide an extensive view of the research, focused on responsible disposal of waste, highlighting the most prominent treatment technologies and techniques employed according to the importance of the analyzed articles. It is noteworthy that the scientometric study allowed to observe that the majority of research on new technologies and effective waste management practices is mainly carried out in the South and Southeast regions. Furthermore, the analysis of the articles of the systematic review demonstrated the number of articles per method of waste treatment, with mixing being the predominant approach in Brazil due to the high levels of construction and demolition waste, as well as their relatively low implementation costs. It is expected that the results found in this work may contribute to the planning and development of public policies that assist in decision-making for integrated solid waste management.

Keywords: solid waste management, treatment technologies, systematic review, scientometric analysis, recyclable solid waste.

5.3. Introdução

O Brasil representa a oitava economia mundial e a maior economia da América Latina (FMI, 2022), sua população de 215 milhões de habitantes gerou cerca de 81 milhões de toneladas de resíduo sólido urbano (RSU) por dia em 2022, apresentando uma geração média de RSU per capita de 381 kg/hab/ano. Em contrapartida, são recolhidos “apenas” 76,1 milhões de RSU, apresentando uma taxa de cobertura de coleta de 93% (ABRELPE, 2022), ocasionando um alto índice de descarte inadequado, resultando em sérios impactos ambientais e de saúde pública (Tabela 1).

Segundo o Banco Mundial (2022), as taxas de geração de resíduos estão aumentando em todo o mundo. Em 2020, foram produzidas em torno de 2,24 bilhões de toneladas de resíduos sólidos, totalizando uma média de 0,79 quilogramas por pessoa por dia. Essa média é ainda maior no caso brasileiro, sendo 1,04 quilogramas por pessoa por dia (ABRELPE, 2022). A partir da figura 2 é possível observar a comparação entre a quantidade de RSU produzida pelos países.

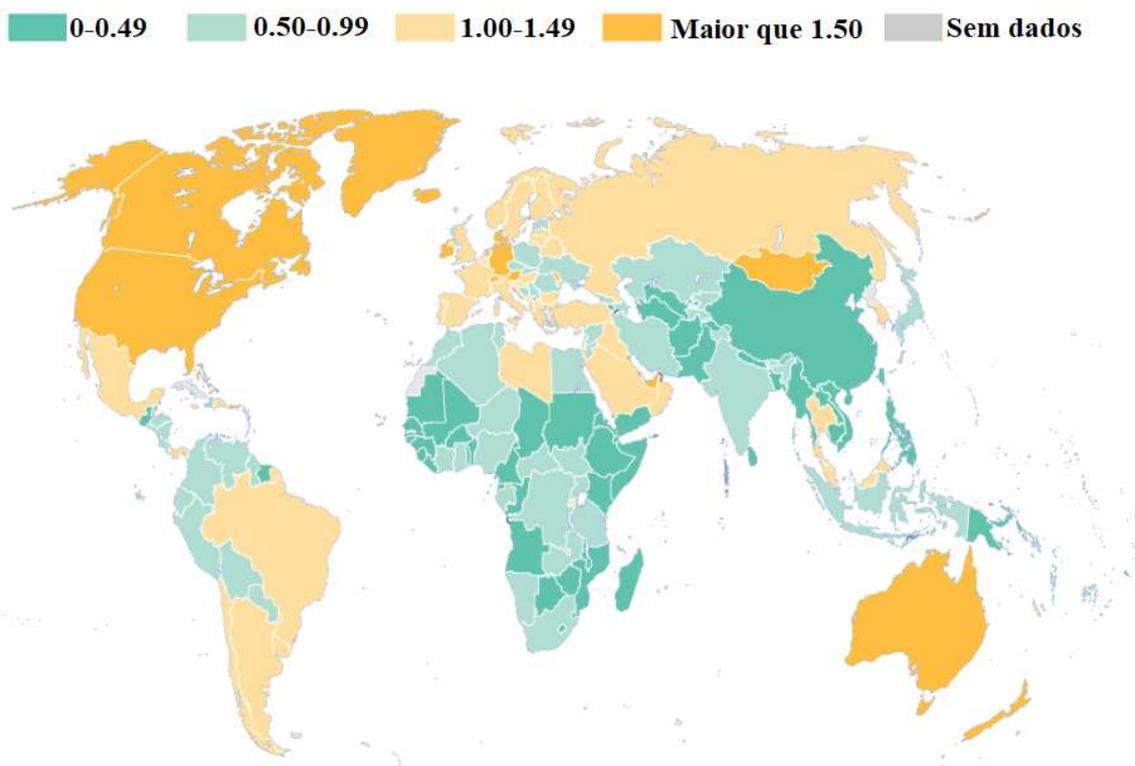


Figura 2. Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados por país (quilogramas/capita/dia). **Fonte:** Adaptado de What a Waste 2.0 (Banco Mundial).

De acordo com o panorama dos resíduos sólidos no Brasil divulgado pela Abrelpe (2020), com base na série histórica estima-se que o Brasil deverá obter um aumento de

aproximadamente 50% no montante de RSU até 2050, ultrapassando a marca de 110 milhões de toneladas por ano. A fim de mitigar a disposição final inadequada é necessário que políticas públicas sejam criadas e implementadas para dar mais ênfase à questão ambiental e incentivar o uso de tecnologias para o tratamento de resíduos sólidos.

Tabela 1. Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados, a quantidade de RSU coletado e o índice de cobertura no Brasil e regiões.

	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Nordeste	Norte	Brasil
Quantidade de RSU gerado (t/ano)	8.668.857	40.641.166	6.127.414	20.200.385	6.173.684	81.811.506
Quantidade de RSU coletado (t/ano)	8.408.791	40.072.190	5.821.043	16.705.718	5.110.575	76.118.317
Índice de cobertura (%)	97,00	98,60	95,00	82,70	82,78	93,06

Fonte. Adaptada de Panorama de resíduos sólidos no Brasil (2022).

Existem algumas iniciativas para melhorar a situação de RSU no Brasil, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) da Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), a partir do que estabelece diretrizes, metas e estratégias para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos. Em 2022 foi aprovado pelo Governo Federal o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES, 2022), que tem como objetivo geral promover ações que visam reduzir a geração e a disposição inadequada de RSU, aumentar a reciclagem e melhorar a gestão dos resíduos sólidos, além de incentivar a responsabilidade compartilhada na geração, manejo e destinação final dos RSU.

Definida pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (2010, p. 30. art. 3º, inciso V) como “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição”. A coleta seletiva é uma das ferramentas da PNRS para auxiliar na redução dos resíduos que vão para lixões e aterros sanitários, além de ajudar a conservar recursos e energia (PLANARES, 2022).

De acordo com o panorama dos resíduos sólidos no Brasil (ABRELPE, 2022), 4.183 municípios apresentaram algum tipo de iniciativa de coleta seletiva em 2021, representando 75,1% do total de municípios do país. Deve-se destacar, entretanto, que em

muitos municípios a coleta seletiva pode ocorrer de forma pontual, não abrangendo a totalidade da população.

Conforme diversos países estão dando mais atenção para as suas responsabilidades ambientais e climáticas, mais trabalhos vêm sendo produzidos e publicados na área de gestão de resíduos, tendo em vista a alta taxa de liberação de carbono e metano em lixões (PINHEIRO, 2018) e o encerramento destes e o esgotamento (saturação) dos aterros sanitários (PROTEGEER, 2021). Novas tecnologias e alternativas de tratamento vêm surgindo com o intuito de mitigar o impacto ambiental promovido pela produção e consumo de produtos de forma desenfreada.

Com isso, foi realizada uma revisão sistemática, no período de 2002 a 2021, com o objetivo de avaliar a gestão de resíduos sólidos recicláveis no Brasil e os desafios e potencialidades dos diferentes tipos de tratamento dos resíduos, seguida de análises bibliométricas e cientométricas com o intuito de obter um panorama do cenário de produções científicas que tratam da disposição ambientalmente correta dos resíduos, apontando as principais tecnologias e métodos de tratamento utilizados.

5.4. Metodologia

5.4.1. Revisão Sistemática

Nesta pesquisa, foi conduzida uma revisão sistemática das publicações anteriores relevantes para a gestão de resíduos sólidos no Brasil. A revisão sistemática da literatura é reconhecida como uma abordagem metodológica que busca sintetizar todos os resultados de pesquisa relevantes, de acordo com critérios de inclusão pré definidos, a fim de responder a uma pergunta de pesquisa específica (SNYDER, 2019).

Para obtenção das referências bibliográficas utilizadas na revisão sistemática foram selecionados artigos científicos publicados em revistas indexadas na base de dados científicos, *Scopus*, e a seleção da base foi devido à qualidade e confiabilidade dos artigos publicados e à ampla cobertura de periódicos e publicações que oferece, superando outros bancos de dados, como o Web of Science (CHADEGANI *et al.*, 2013).

As palavras-chave que foram utilizadas como filtro de resultados desta pesquisa foram: “solid waste”, “solid residue*”, “management”, "treatment" e "Brazil*", aplicando filtros de restrição para o tipo de documento, o ano de publicação e o idioma, para que

aparecessem resultados de artigos publicados durante o intervalo de 20 anos (2002 – 2021) e que estivessem nos idiomas inglês ou português.

Enter query string

```
TITLE-ABS-KEY ( "solid waste" OR "solid residue*" ) AND ( "management" OR "treatment" ) AND ( "Brazil*" ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE,"ar" ) ) AND ( EXCLUDE ( PUBYEAR,2022 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1991 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1990 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1989 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1988 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1987 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1986 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1985 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1984 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1980 ) OR EXCLUDE ( PUBYEAR,1978 ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE,"English" ) OR LIMIT-TO ( LANGUAGE,"Portuguese" ) )
```

Outline query Add Author name / Affiliation Clear form

Search Q

Figura 3. Código de filtro de buscas utilizado na base *Scopus*.

Após a determinação do código, a busca foi realizada e foram encontrados 4.227 artigos, que foram baixados em formato “.xlsx”, gerando uma tabela com os campos “Título”, “Ano”, “DOI”, “Link” e “Resumo”.

A primeira etapa de triagem dos resultados da pesquisa foi realizada de acordo com análise do título e do resumo de cada trabalho, como é descrito na figura 3, verificando se os trabalhos condiziam com o campo e área de estudo. Nesta fase, foram excluídos 2.892 artigos por não serem sobre o Brasil ou por a gestão de resíduos não ser a principal temática abordada no trabalho. É notável que alguns filtros da base de dados não funcionaram como deveriam, especialmente na separação por região.

Posteriormente, foram definidos oito critérios de exclusão e os 1.335 artigos remanescentes foram analisados por completo. Os critérios de exclusão utilizados nessa fase da triagem foram “não especifica o tipo de resíduo utilizado”, “não especifica a tecnologia de tratamento utilizada”, “não especifica os produtos obtidos a partir do tratamento”, “o trabalho não é sobre o Brasil”, “o resíduo abordado não é um resíduo sólido”, “o resíduo abordado é um resíduo de serviço de saúde (RSS)” e “artigo não encontrado”. Ao todo, foram excluídos 1.259 artigos nesta etapa.

Esses critérios foram definidos de acordo com a abrangência necessária para atender o escopo do trabalho, pois, por vezes, foram encontrados artigos que não eram trabalhos sobre o Brasil, ou por não especificarem o resíduo tratado ou a tecnologia de tratamento utilizada. O não detalhamento do produto final do tratamento também foi passível de exclusão do artigo da análise, pois não seria possível avaliar a potencialidade

daquela tecnologia. Ademais, os resíduos de serviço de saúde são materiais que não são considerados como recicláveis, por conta do seu alto potencial de contaminação. Ainda, alguns não estão em domínio público e não tinham como ser acessados através do convênio com a Universidade Federal do Rio de Janeiro não foram possíveis de serem lidos e por isso não entraram na análise final.

Por conseguinte, sobraram setenta e seis artigos que tiveram suas informações transpostas para a tabela de coleta de dados (tabela 2). Foram criadas categorias gerais representando campos importantes para a análise do tratamento dos resíduos, sendo essas, “Informações Gerais”, “Composição gravimétrica”, “Tratamento”, “Produtos” e “Observações”. As categorias gerais foram divididas em dezoito categorias específicas, para maior aprofundamento e melhor interpretação dos dados.

Com isso, foram gerados 1.209 dados a partir das informações obtidas através das análises dos artigos lidos (figura 4), permitindo a avaliação das tecnologias de tratamento por meio da comparação de dados qualitativos - em sua maioria - a partir das informações coletadas. Fonseca (2006) ressalta que os dados qualitativos são os mais difíceis de se mensurar e comparar em um estudo por conta da dificuldade do pesquisador em estruturar as conclusões que obtêm-se dos dados com informações mais abstratas.

Tabela 2 - Exemplificação da tabela de coleta de dados gerada.

Informações gerais	Origem do resíduo	Industrial
	Destinação final original	Aterro sanitário
Composição gravimétrica	Tipo de resíduo	Resíduo de perfuração de pás eólicas
Tratamento	Logística Reversa	Não
	Classificação Geral	Mecânico
	Método de tratamento	Torneamento
	Tecnologia de tratamento	Torno
	Vantagens do tratamento	Diminuição no peso do material e valorização do resíduo
	Desvantagens do Tratamento	Pouco apelo (baixa aplicabilidade)
	Potencialidades	Economia de matéria prima
Produtos	Produtos obtidos através do tratamento	Argamassa
	Setor de aplicação dos produtos	Industrial
	Potencial energético	-
Observações	Observações	O resíduo substituiu parte do agregado (areia), consequentemente reduzindo o uso de um recurso natural (areia), e proporcionando uma rota adequada para o descarte e uso dos resíduos das pás eólicas.

O número de publicações em uma determinada área de pesquisa é suscetível a ser influenciado pelas prioridades estabelecidas pelas instituições acadêmicas e pelos órgãos de financiamento. Caso a gestão de resíduos não seja considerada uma prioridade estratégica nessas instâncias, é possível que haja um impacto negativo no número de estudos e, consequentemente, na quantidade de publicações produzidas nesse campo. Além disso, a disponibilidade de dados e informações relevantes é crucial para a realização de pesquisas e a publicação de resultados científicos. Se houver falta de acesso

a dados confiáveis e atualizados sobre a gestão de resíduos no Brasil, essa circunstância pode dificultar a produção científica na área.

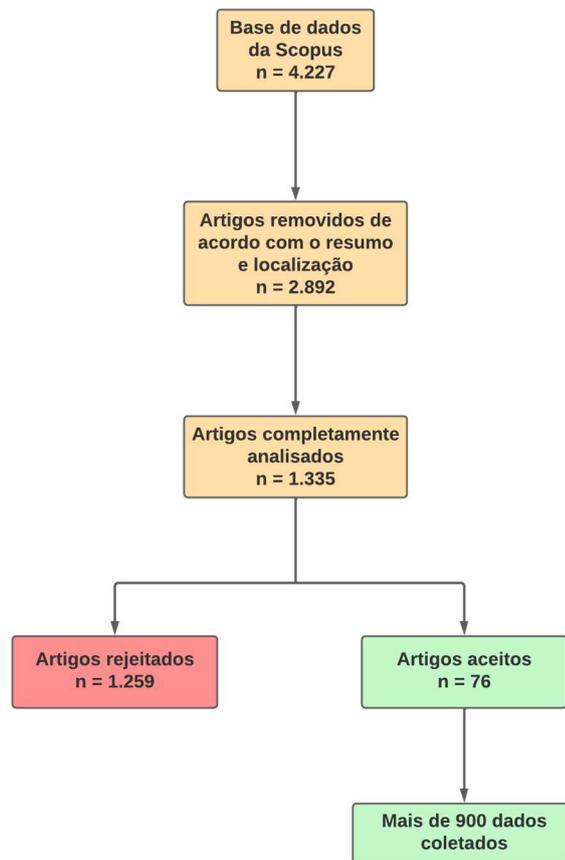


Figura 4. Fluxograma dos processos de inclusão e exclusão dos artigos.

Por último, é extremamente relevante ressaltar que nas últimas décadas a falta de investimento significativo em pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, dedicando recursos substanciais para impulsionar o avanço científico em várias áreas, incluindo a gestão de resíduos sólidos. Segundo veiculado no site da Câmara dos Deputados (2022), os cortes orçamentários no financiamento da pesquisa científica e tecnológica no Brasil ao longo dos últimos sete anos resultaram em perdas estimadas em torno de R\$83 bilhões até o ano de 2021. Acredita-se que o investimento atual do país nessa área representa aproximadamente 1% do Produto Interno Bruto (PIB), ou até mesmo uma proporção ainda menor. Adicionalmente, uma economista do Observatório do Conhecimento aponta que o Brasil atualmente dispõe apenas de 38% dos recursos anteriormente disponíveis em comparação com o montante investido em 2014.

5.4.2. Análise cientométrica

Por intermédio de análises bibliométricas e cientométricas é possível retratar informações sobre a orientação e dinâmica científica de um país sobre determinado assunto, proporcionando a criação de estratégias que propiciem o desenvolvimento científico (MACIAS-CHAPULA, 1998).

Segundo Silva (2001) e Siman (2018), os principais campos para avaliar a qualidade do material que está sendo produzido sobre os tipos de tratamentos e suas tecnologias são: o número de artigos publicados; o número de citações dos artigos, o fator de impacto das revistas/periódicos e o número de artigos por região.

A utilização da análise cientométrica nesse estudo se faz relevante, também, pois essa aborda o estudo dos aspectos da ciência, inovação e tecnologia a partir de uma perspectiva quantitativa (LEYDESDORFF, 2015). A análise foi realizada a partir dos dados obtidos na revisão sistemática, ampliando os campos de dados analisados e, conseqüentemente, os resultados encontrados no trabalho.

5.5. Resultados e Discussão

5.5.1. Número de citações e fator de impacto das revistas e periódicos por tratamento

A relevância da publicação pode ser medida por diferentes métricas e uma delas é através do número de citações que o trabalho recebe durante um determinado período de tempo. Esse é um bom indicador de impacto, mostrando a relevância que o material possui na comunidade científica da área (SILVA, 2001).

De mesmo modo, publicar em revistas com alto fator de impacto é considerado como um critério de qualidade de trabalho executado, por serem revistas que possuem maior prestígio acadêmico. Essa métrica leva em consideração o tempo, assim o fator de impacto é calculado a partir da taxa média de publicações citadas durante o ano atual e os dois anos anteriores (MIGLIOLI, 2017).

Existem diversas métricas para mensurar a relevância da publicação, dentre elas, as métricas do CiteScore, calculados a partir de dados do Scopus. O cálculo é baseado no número de citações de um documento por uma revista ao longo de quatro anos, dividido

pelo número dos mesmos tipos de documentos no catálogo do Scopus e publicados naqueles mesmos quatro anos, permitindo uma avaliação concreta da influência, e consequentemente, das citações (SCOPUS, 2021).

A tabela 3 apresenta a relevância das revistas e periódicos de acordo com as principais tecnologias de tratamentos presentes no estudo, assim como evidencia o número de citações por artigo de acordo com a categoria de tecnologia de tratamento, promovendo uma perspectiva para avaliação e comparação da qualidade dos trabalhos publicados.

Tabela 3. Fator de impacto das revistas e número de citações dos periódicos de acordo com as principais tecnologias de tratamentos.

Tecnologia de Tratamento	Revista	CiteScore (média)	Artigo N°	Total de citações
Biorreator	Resources, Conservation and Recycling	17,9	1985	80
	Journal of Cleaner Production	15,8	1550	34
	International Journal of Hydrogen Energy	10	288	4
	International Journal of Hydrogen Energy	10	288	4
	Process Safety and Environmental Protection	9,9	1060	15
	Biomass and Bioenergy	8,8	946	12
	Journal of Environmental Chemical Engineering	7,7	1033	16
	Journal of Thermal Analysis and Calorimetry	7,4	2746	1
	Waste Management and Research	5,9	1543	5
	Biomass Conversion and Biorefinery	5,6	1216	6
	Applied Biochemistry and Biotechnology	5,1	796	14
	Water Science and Technology	3,4	3788	4
	Water Science and Technology	3,4	3788	4
	Detritus	2,2	1052	1

	Semina:Ciencias Agrarias	1	3753	19
	Semina:Ciencias Agrarias	1	3753	19
	Periódico Tche Química	-	1616	1
	Journal of Cleaner Production	-	1904	28
	Resources, Conservation and Recycling	-	2025	33
	Journal of Cleaner Production	-	2642	78
	Biomass and Bioenergy	-	946	12
	Detritus	-	1052	1
		7,2		391
	Journal of Cleaner Production	15,8	2763	62
	Renewable Energy	13,6	2674	49
	Construction and Building Materials	10,6	2603	68
	Materials Science and Engineering A	9,4	4041	55
	Journal of Building Engineering	6,4	995	71
	Journal of Material Cycles and Waste Management	5,3	831	22
	BioResources	3,4	1649	6
	Ceramica	2	2909	7
	Chemical Engineering Transactions	1,6	2975	9
	Revista Materia	0,8	2125	6
	Journal of Building Engineering	-	1485	41
	Ceramica	-	2649	12
	Ceramica	-	2984	1
	Revista Materia	-	3000	7
		6,5		416
Prensa				
	Renewable Energy	13,6	1338	19
	Waste Management	13,5	1490	27
Forno				

Misturador	Catalysis Today	10,4	1172	1
	Waste Management and Research	5,9	825	3
		10,9		50
	Journal of Cleaner Production	15,8	955	26
	Materials Research	2,8	1609	2
	Materials Research	2,8	1639	1
	Proceedings of Institution of Civil Engineers	1,9	1379	2
	5,8		31	
Usina (CHP ou Ciclo Rankine)	Resources, Conservation and Recycling	17,9	1824	23
	Renewable Energy	13,6	80	14
	Journal of Environmental Management	11,4	1589	52
	Waste Management and Research	5,9	1543	5
	12,2		94	
Compostagem	Environmental Pollution	12,7	834	19
	Detritus	2,2	931	1
	Engenharia Sanitária e Ambiental	0,9	967	147
	5,3		167	
Caldeira	Clean Technologies and Environmental Policy	6,2	1322	5
	Revista em Agronegócio e Meio Ambiente	0,2	2215	0
	3,2		5	

As melhores revistas avaliadas de acordo com a métrica CiteScore foram, “Resources, Conservation and Recycling”, “Journal of Cleaner Production” e “Renewable Energy”, sendo todas elas periódicos estrangeiros renomados. Esses três periódicos aparecem em 5 dos 7 principais campos de tecnologia e métodos de tratamento estudados.

Os artigos mais citados estudados no trabalho abordaram as tecnologias de “Biorreator” e “Compostagem” e “Prensa”, sendo representados em sua maioria por periódicos estrangeiros. Destaca-se a revista brasileira “Engenharia Sanitária e Ambiental” que teve publicado o artigo com maior número de citações do trabalho, demonstrando a importância nacional do tema e do surgimento de novas práticas e tecnologias de tratamento dos resíduos.

Entre os setenta e seis artigos analisados, constatou-se que sessenta e seis deles foram redigidos por pesquisadores brasileiros. Tal constatação evidencia a tendência dos pesquisadores do Brasil em buscar a publicação de seus trabalhos em periódicos estrangeiros, os quais são geralmente mais bem avaliados e possuem um alcance maior, graças à superação da barreira linguística. Essa estratégia busca proporcionar maior destaque às suas publicações, aumentando a probabilidade de receberem mais citações e adquirirem maior relevância.

Adicionalmente, observou-se que a quantidade de artigos que abordam a gestão de resíduos sólidos no contexto brasileiro é bastante reduzida, especialmente se comparada a países de menor dimensão. Essa escassez de estudos reflete na falta de diversidade de métodos de tratamento de resíduos disponíveis. Diversos fatores podem explicar esse baixo número de trabalhos publicados nessa área específica, sendo um deles a escassez de incentivos para a realização de pesquisas científicas que abordem essa temática.

5.5.2 Número de artigos por Estado

O número de publicações por Estado é um indicador quantitativo que permite comparar diferentes regiões, acompanhando de forma sistemática o índice de atividade e produção científica de determinado tema, possibilitando comparar o grau de especialização de diferentes localidades (SILVA, 2001).



Figura 5. Números de artigos sobre tratamento de resíduos por Estado brasileiro no período de 2002 a 2021.

A partir do disposto na figura 5, é possível inferir que apenas 14 dos 26 Estados brasileiros possuem qualquer tipo de publicação com o tema de gestão de resíduos. A região Sudeste possui a maior quantidade de publicações sobre o tema e sozinha representa mais da metade de artigos publicados na área de gestão de resíduos no Brasil.

Segundo a Abrelpe (2022), as regiões Sul e Sudeste são as regiões que mais recebem incentivos federais para a gestão de seus RSU, demonstrando a preocupação com os métodos de tratamento e com a destinação correta dos resíduos. Contudo, apesar do expressivo valor de capital investido, percebe-se que o número de municípios que realiza a disposição ambientalmente correta é baixo, como é possível observar na tabela 4, em comparação com outras regiões que recebem menos investimento, explicitando a

incompetência dos governantes brasileiros de estruturar um Programa de Gestão de Resíduos Sólidos (PGRS) que vigore.

Tabela 4. Número de municípios por tipo de disposição final de resíduos sólidos e recursos aplicados no Brasil por região. (Disposição adequada = aterros sanitários, e disposição inadequada = aterros controlados e lixões)

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Disposição de resíduos adequada	96	515	175	887	1.071	2.774
Disposição de resíduos inadequada	354	1.279	292	781	120	2.826
Recursos aplicados (R\$ bilhões/ano)	1,946	6,342	1,367	15,281	3,097	28,033
Total	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570

Fonte: Adaptada de Panorama de resíduos sólidos no Brasil (2022).

5.5.3 Número de artigos publicados por método de tratamento

A publicação de novos artigos proporciona a difusão do conhecimento científico para a comunidade acadêmica e o público geral, facilitando o acesso ao saber. Por isso, a publicação científica é um componente importante e fundamental da pesquisa, validando os indicadores bibliométricos como um parâmetro indireto da atividade da comunidade científica.

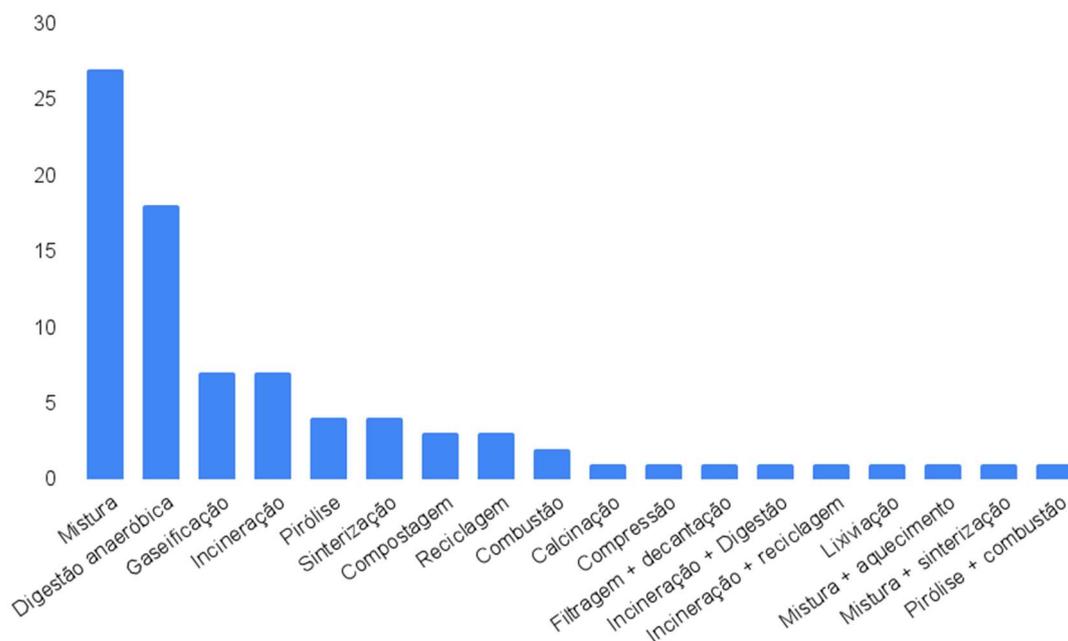


Figura 6. Quantidade de artigos publicados por métodos de tratamento de resíduos sólidos no período de 2002 a 2021.

O método de tratamento mais representado nos artigos estudados (figura 6) foi a mistura, que consiste em técnicas diversas para juntar e homogeneizar diferentes materiais em proporções diferentes, a fim de obter, na maioria das vezes, um produto final mais barato e/ou com propriedades melhores com as encontradas no mercado, utilizado principalmente na área da construção civil (QUEIROZ NETO *et al.*, 2020). Foram coletados cerca de 48 milhões de resíduos de construção civil e de demolição durante o ano de 2021, demonstrando a importância da destinação final correta deste resíduo (ABRELPE, 2022). A prensa hidráulica uniaxial foi a tecnologia de tratamento que mais se destacou nesse campo, representando 48% das tecnologias estudadas.

A tecnologia de tratamento mais frequentemente encontrada na pesquisa é a prensa hidráulica uniaxial (figura 7), caracterizada por ser uma tecnologia de fabricação de materiais como tijolos de cimento ou telhas de cerâmica, e que pode ser utilizada na confecção desses mesmos produtos a partir de materiais recicláveis. Existem diversos modelos de prensa disponíveis, podendo ser manuais ou automáticas, implicando no custo de fabricação, produtividade, capacidade e pela pressão realizada na compactação do material (PARIZ, 2005).

A digestão anaeróbica (DA) é um processo bioquímico capaz de converter matéria orgânica em biogás, aparecendo como o segundo método de tratamento mais estudado no Brasil. Esse resultado está em consonância com o relatório da Abrelpe (2021), que expõe que os resíduos orgânicos compõem cerca de 51% de todos os resíduos coletados no Brasil, indicando grande potencial de aplicabilidade para métodos que utilizem a DA para recuperação energética e o tratamento dos resíduos. Para esse método de tratamento, os biorreatores representam 94% das tecnologias de tratamento utilizadas nessa área.

Com a finalidade de recuperar o material reciclável, os biorreatores promovem a reunião de diversos processos mecânicos e biológicos, proporcionando o tratamento adequado dos resíduos orgânicos por meio da digestão anaeróbica. Os biorreatores em escala industrial possibilitam maximizar a produção de diferentes gases que são produzidos nesse processo, em especial o gás metano, por ser o único componente combustível presente no biogás (DALMO *et al.*, 2019).

Ademais, a gaseificação e a incineração surgem como o terceiro método de tratamento mais estudado dentro do escopo do trabalho, representando, dessa forma, os tratamentos térmicos. Segundo Medina (2019), uma alternativa viável a ser analisada consiste na gaseificação de resíduos sólidos, uma vez que possui grande versatilidade e baixas emissões de GEE, sendo, inclusive, vantajosa para o ambiente. Da mesma forma, a incineração mostra-se como uma opção bem avaliada para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos, uma vez que possa resultar em diversos produtos, como, por exemplo, bioenergia e produtos de valor agregado, como gás de síntese, sendo considerada uma das tecnologias Waste to Energy (WtE) (CAMPOS *et al.*, 2021).

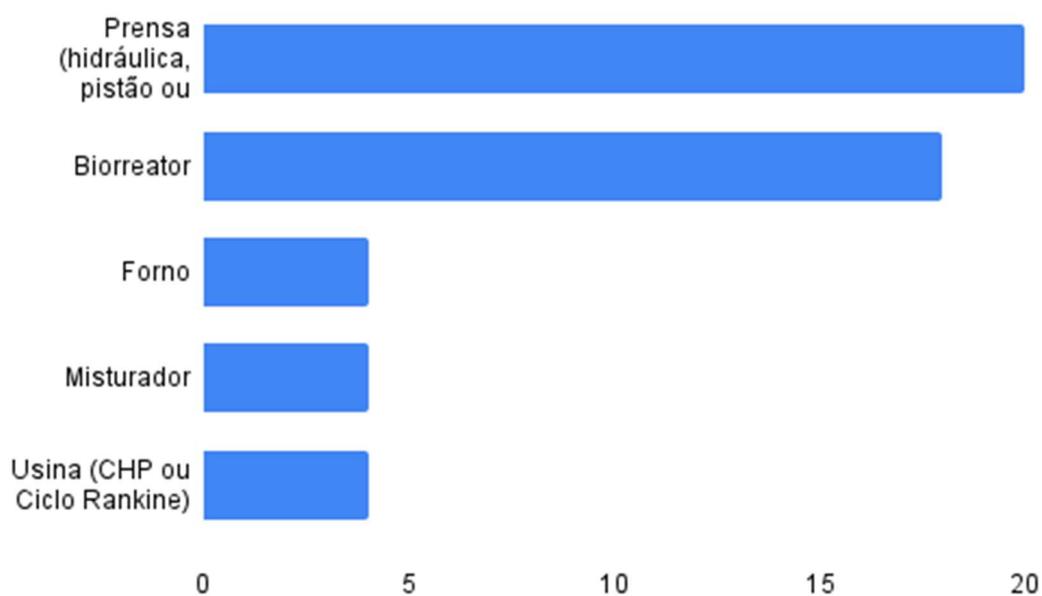


Figura 7. Principais tecnologias de tratamento estudadas nos trabalhos científicos.

Dentre os resultados deste estudo, estão diversas tecnologias das três rotas de tratamento de resíduos (mecânico, biológico e térmico) mais estabelecidas (figura 8), sendo possível promover uma oportunidade de diversificação da matriz de tratamentos por meio de uma gestão integrada dos resíduos sólidos, uma vez que, os trabalhos que promoveram a utilização de mais de um método de tratamento para a gestão dos resíduos apresentaram melhores resultados ambientais e econômicos.

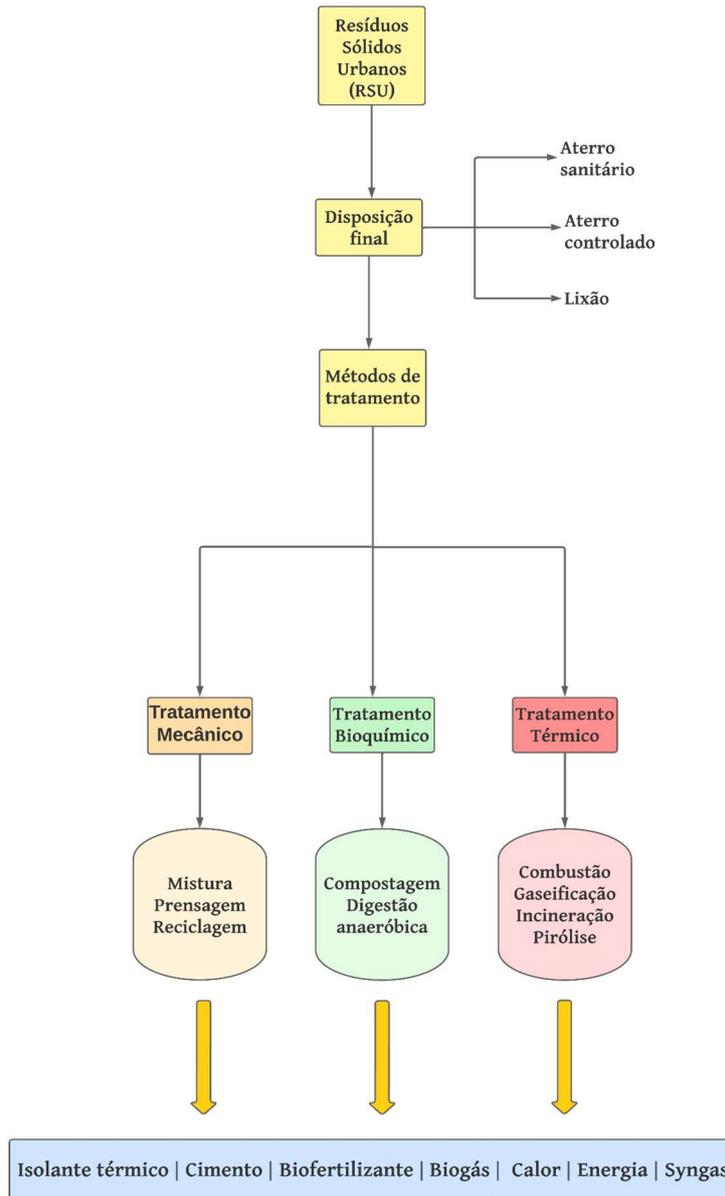


Figura 8. Fluxograma da matriz de tratamentos de resíduos a partir das três principais vias de tratamento.

A diversificação da matriz de gestão de resíduos sólidos desempenha um papel crucial na redução da dependência de métodos convencionais, como aterros sanitários e lixões, resultando na mitigação dos impactos sociais negativos associados à destinação inadequada de resíduos. Além disso, tal diversificação também contribui para a preservação de recursos naturais não renováveis, estando em consonância com os princípios da economia circular, cujo propósito reside na otimização do aproveitamento dos recursos e na minimização do desperdício. Um exemplo notável é a promoção da reciclagem, uma vez que ela enseja a redução da extração de matérias-primas virgens,

como minerais e petróleo, que são utilizados na fabricação de uma ampla gama de produtos. Ademais, a adoção de práticas de gestão de resíduos de forma sustentável também estimula a criação de oportunidades de emprego no setor de catadores de materiais recicláveis.

Embora haja disponibilidade de tecnologias necessárias para atender às exigências da PNRS no Brasil, especialistas apontam que os custos e a falta de uma maior integração na gestão dos RSU têm sido os principais obstáculos. Em contraste com países que já solucionaram ou estão em processo de solução para o problema dos RSU, onde a utilização de aterros sanitários, incineradores e biodigestores para geração de energia é amplamente adotada, no Brasil os desafios persistem em grande parte devido à ausência de uma gestão unificada dos RSU, sendo semelhantes aos enfrentados antes da implementação da PNRS.

5.5.4 Produtos obtidos pelos diferentes métodos de tratamento

A implementação de métodos de tratamento de resíduos sólidos é de extrema importância para preservar o meio ambiente, proteger a saúde pública, recuperar recursos e reduzir o desperdício (MOLIN FILHO *et al.*, 2019). Essa abordagem desempenha um papel crucial na promoção da sustentabilidade e no aprimoramento da qualidade de vida das gerações atuais e futuras.

Por meio da revisão sistemática, foi possível compilar e analisar os 14 produtos obtidos em estudos que abordam diferentes métodos e tecnologias de tratamento de resíduos sólidos recicláveis no Brasil (Figura 9). Essa análise permitiu avaliar o potencial e os setores de aplicação desses produtos. Observou-se que o setor da construção civil apresenta maior capacidade de aplicação dos produtos obtidos. Esse fato está diretamente relacionado ao destaque dado à tecnologia da prensa hidráulica uniaxial nos estudos realizados no Brasil. Essa tecnologia gera produtos utilizados como agregados em materiais de construção civil, como concreto e tijolos de cerâmica, conforme descrito por Azevedo *et al.* (2020) e Torres *et al.* (2020).

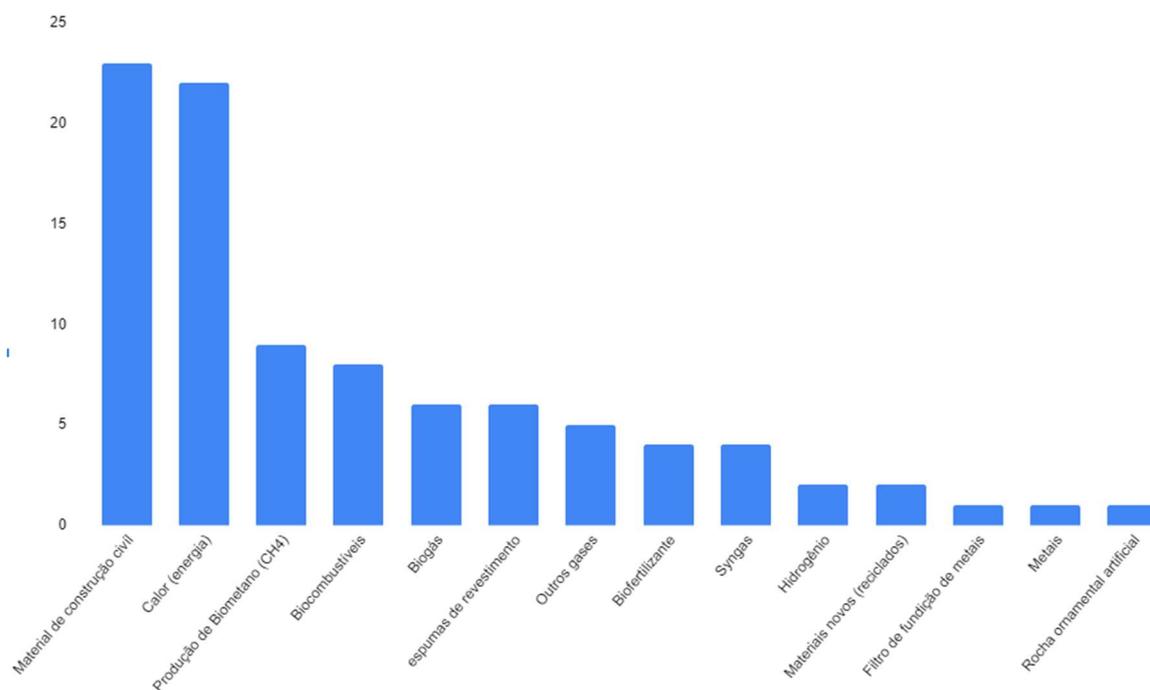


Figura 9. Produtos obtidos através dos tratamentos analisados.

Ademais, é importante ressaltar o aproveitamento do calor (energia) obtido por meio dos métodos de tratamento térmico, como a gaseificação e a incineração, que são amplamente difundidos na literatura científica. Estudos, como Lopes *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2020), evidenciam a viabilidade econômica da implementação de usinas de conversão de resíduos em energia (WtE) próximas a receptores de resíduos, como lixões e aterros sanitários. Essas usinas proporcionam a geração de energia a partir dos resíduos, resultando na redução do volume de resíduos dispostos nessas instalações, além de proporcionar um manejo mais adequado do ponto de vista ambiental.

Além disso, os diversos métodos de tratamento de resíduos sólidos desempenham um papel fundamental não apenas na disposição ambientalmente adequada desses resíduos, mas também na capacidade de gerar produtos com aplicabilidade na indústria. Essa abordagem multifacetada oferece um potencial significativo para reduzir os custos de produção de novos materiais, bem como minimizar a necessidade de extração de recursos naturais. Ao adotar esses métodos, podemos transformar os resíduos em recursos valiosos, promovendo a sustentabilidade e a economia circular. Essa abordagem holística não apenas protege o meio ambiente, mas também impulsiona a eficiência econômica, abrindo caminho para um futuro mais consciente e próspero.

5.6. Conclusão

Esse trabalho apresenta uma revisão cientométrica abrangente sobre a produção e tratamento de resíduos sólidos recicláveis no Brasil entre 2002 e 2021. Por meio das análises das métricas números de citações e fator de impacto das revistas foi possível obter uma visão mais abrangente, transparente e atual do impacto de um periódico na sua respectiva área de conhecimento. Percebe-se que 87% dos artigos sobre as principais tecnologias e métodos de tratamento de resíduos no Brasil são publicados por brasileiros, entretanto, as revistas estrangeiras representam 84% da preferência dos pesquisadores para publicações, muito provavelmente, por conta da quebra da barreira da língua e da relevância da revista, visando um maior destaque para a sua publicação.

A análise dos artigos da revisão sistemática permitiu também observar a quantidade de artigos por métodos de tratamento de resíduos sólidos, sendo a mistura o principal método de tratamento de resíduos no Brasil, devido às altas taxas de produção de resíduos de construção civil e demolição e baixo custo de implementação. Ademais, a digestão anaeróbica surge como o segundo método de tratamento mais utilizado, sendo capaz de transformar os resíduos orgânicos em gases combustíveis para a geração de energia, além da capacidade de produzir biofertilizantes. Assim como a digestão anaeróbica, os biorreatores são tecnologias amplamente utilizadas, possuindo diferentes modelos e com conhecimento difundido nas comunidades tecnocientífica.

Ainda, destacam-se os métodos de tratamento térmicos, gaseificação e incineração, que foram juntos os terceiros métodos de tratamento mais relevantes no estudo. A gaseificação de materiais orgânicos é uma das estratégias eficazes para recuperar energia, por meio da conversão térmica de RSU em um gás energético (gás sintético ou “syngas”), a partir das crescentes geração de resíduos sólidos urbanos. A incineração é uma prática comum em muitos países por conta da sua capacidade de redução de volume e massa do resíduo, de eliminar patógenos e gerar calor que pode ser transformado em eletricidade.

Por fim, conclui-se que os principais estudos de caracterização de resíduos, tecnologia e métodos de tratamentos abordados neste trabalho são fundamentais para auxiliar no planejamento e no desenvolvimento de políticas públicas, e para o dimensionamento de decisões para uma gestão integrada de resíduos sólidos, promovendo a diversificação da matriz de gestão de resíduos, resultando em diferentes produtos de acordo com o método de tratamento utilizado.

5.7. Referências

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2020**. São Paulo: Abrelpe, 2020. 51 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2021**. São Paulo: Abrelpe, 2021. 53 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2022**. São Paulo: Abrelpe, 2022. 52 p.

AZEVEDO, A.R.G. *et al.* **Potential use of ceramic waste as precursor in the geopolymerization reaction for the production of ceramic roof tiles**. Journal Of Building Engineering, [S.L.], v. 29, p. 101156, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101156>.

BANCO MUNDIAL. Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. **What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Urban Development;. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998** . Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2010, n. 147, p. 3-7, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Orçamento da pesquisa científica perdeu mais de R\$ 80 bilhões nos últimos sete anos**. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/883070-orcamento-da-pesquisa-cientifica-perdeu-mais-de-r-80-bilhoes-nos-ultimos-sete-anos/>. Acesso em: [data de acesso].

CAMPOS, Victor Arruda Ferraz de et al. **A review of waste management in Brazil and Portugal: waste-to-energy as pathway for sustainable development**. Renewable Energy, [S.L.], v. 178, p. 802-820, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.107>.

Chadegani AA, Salehi H, Yunus M, *et al.* (2013). **A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases**. Asian Social Science 9: 18–26.

DALMO, Francisco César; SIMÃO, Nathalia Machado; LIMA, Heleno Quevedo de; JIMENEZ, Ana Carolina Medina; NEBRA, Silvia; MARTINS, Gilberto; PALACIOS-BERECHE, Reynaldo; SANT'ANA, Paulo Henrique de Mello. **Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil.** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 212, p. 461-474, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.016>.

FMI, Fundo Monetário Internacional. **World Economic Outlook Database**, october 2022 edition. Washington, Dc, 2022. PARIZ

FONSECA, Jaime Raúl Seixas. **Os Métodos Quantitativos na Sociologia: dificuldades de uma metodologia de investigação.** In: VI CONGRESSO PORTUGUÊS DE SOCIOLOGIA, 2006, Lisboa. *Mundos sociais: Saberes e práticas*. Lisboa, 2006. p. 1-18.

LEYDESDORFF, Loet. **Scientometrics.** International Encyclopedia Of Social And Behavioral Sciences, Nova Iorque, p. 1-18, 2015.

LOPES, E.J. et al. **Evaluation of energy gain from the segregation of organic materials from municipal solid waste in gasification processes.** Renewable Energy, [S.L.], v. 116, p. 623-629, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.018>.

MACIAS-CHAPULA, C. A. **O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional.** *Ciência da Informação*, v. 27, n. 2, p. 134-140. 1998.

MEDINA Jimenez AC, Bereche RP-, Nebra S. **Three municipal solid waste gasification technologies analysis for electrical energy generation in Brazil.** *Waste Management & Research*. 2019;37(6):631-642. doi:10.1177/0734242X19841126

MIGLIOLI, Sarah. **Influência e limites do fator de impacto como métrica de avaliação na ciência.** *Ponto de Acesso*, Salvador, v. 11, n. 3, p. 17-33, dez. 2017.

MOLIN FILHO, Rafael Germano dal *et al.* **Characterization of different sugarcane bagasse ashes generated for preparation and application as green products in civil construction.** *Clean Technologies And Environmental Policy*, [S.L.], v. 21, n. 8, p. 1687-1698, 2 ago. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-019-01740-x>.

PARIZ, Silvan Oliosia. **Prensa hidráulica para fabricação de tijolos solo-cimento**. 2005. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

PINHEIRO, Layse Teixeira. **Fluxos de dióxido de carbono e metano de um lixão na Amazônia**. 2018. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

PLANARES. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares** Brasília, DF: MMA, 2022. p. 209 Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

PROTEGEER - COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA NA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. (org.) **Roteiro para encerramento de lixões**. Brasília/Df, 2021. 44 p.

QUEIROZ NETO, Manoel Lindolfo et al. **Avaliação de um trecho experimental de pavimentação urbana em concreto asfáltico à quente com resíduos de construção e demolição de obras (RCD) como camada de revestimento**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-18, 9 out. 2020. University Nove de Julho. <http://dx.doi.org/10.5585/geas.v9i1.16108>.

SCOPUS. **Measuring a journal's impact**. 2021. Disponível em: <https://www.elsevier.com/authors/tools-and-resources/measuring-a-journals-impact>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SILVA, José Aparecido da; BIANCHI, Maria de Lourdes Pires. **Cientometria: : a métrica da ciência**. Paidéia (Ribeirão Preto), [S.L.], v. 11, n. 21, p. 5-10, 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-863x2001000200002>.

SILVA, Leo Jaymee de Vilas Boas da *et al.* **Incineration of municipal solid waste in Brazil: an analysis of the economically viable energy potential**. Renewable Energy, [S.L.], v. 149, p. 1386-1394, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.134>.

SIMAN, Renato Ribeiro. **Organizações de catadores de materiais recicláveis para fins de apoio às atividades operacionais**: um estudo das publicações científicas. Inovação e Sustentabilidade na Gestão de Processos de Negócios, Bauru, p. 1-19, nov. 2018.

SNYDER H (2019). **Literature review as a research methodology**: An overview and guidelines. Journal of Business Research 104: 333–339.

TORRES, Caio Moreira Miquelino Eleto *et al.* **Dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to Portland cement clinker**. Journal Of Material Cycles And Waste Management, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 851-861, 29 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-020-00983-x>.

5.8. Anexos

Planilha de coleta de dados: https://is.gd/tabela_de_dados

Tabela 5. Principais tecnologias de tratamento estudadas nos trabalhos científicos publicados no Brasil durante o período de 2002 a 2021.

Tecnologia	Quantidade	Vantagem	Desvantagem
Prensa (hidráulica, pistão ou uniaxial)	20	Redução do custo de produção de cerâmica e diminuição da demanda de materiais novos	Altos custos de implementação
Biorreator	18	Redução do volume de resíduos e transformação de um passivo ambiental em um ativo econômico	Falta de dados de viabilidade econômica prática
Forno	4	Redução do volume de resíduos e geração de energia	Técnica pouco estudada
Usina (CHP ou Ciclo Rankine)	4	Redução do volume de resíduos e geração de energia	Altos custos de implementação

Fonte: Elaboração própria.

Capítulo 2

6. ANÁLISE DA EFICÁCIA DA LOGÍSTICA REVERSA E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

6.1 Resumo

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um problema importante em todo o mundo, inclusive no Brasil, onde mais de 29 milhões de toneladas são destinadas de forma inadequada. Os acordos setoriais estão estabelecidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e são pactuados entre os diversos agentes que atuam ao longo do ciclo de vida do produto e têm como objetivo compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos. O presente trabalho buscou analisar a eficácia da logística reversa no Brasil, trazendo os pontos relevantes dos principais Sistema de Logística Reversa (SLR) implantados até o presente momento, bem como avaliar a viabilidade das tecnologias de tratamento disponíveis através de incentivos financeiros e logísticos por meio de dispositivos legais. Para isso, utilizou-se do método de pesquisa bibliográfica, sendo esta de caráter exploratório, para obter os dados dos relatórios técnicos e de acompanhamento de instituições especializadas e entidades gestoras de cada SLR. Com isso, as informações foram sistematizadas para categorizar os principais indicadores de desempenho dos SLR e observou-se que, embora hajam tecnologias de tratamento avançadas para promover a disposição final ambientalmente correta, trazendo benefícios ambientais, econômicos e sociais, as lacunas de regulamentação dos setores e a falta de financiamento da infraestrutura necessária impedem a implementação de tecnologias avançadas de tratamento.

Palavras-chave: sistemas de logística reversa, Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), acordos setoriais, disposição adequada, cadeia de produção.

6.2 Abstract

The final disposal of urban solid waste (USW) is a major problem worldwide, including in Brazil, where more than 29 million tons are improperly disposed of. Sectoral agreements are established in the National Solid Waste Policy (PNRS) and are agreed upon by various agents that act throughout the product life cycle and aim to share responsibility for the product life cycle. This study aimed to analyze the effectiveness of reverse logistics in Brazil, bringing relevant points of the main Reverse Logistics Systems (RLS) implemented to date, as well as evaluating the feasibility of available treatment technologies through financial and logistical incentives through legal devices. For this, the bibliographic research method was used, which was exploratory in nature, to obtain data from technical reports and monitoring of specialized institutions and management entities of each RLS. With this, the information was systematized to categorize the main performance indicators of RLS and it was observed that, although there are advanced treatment technologies to promote environmentally correct final disposal, bringing environmental, economic, and social benefits, gaps in sector regulation and lack of financing of the necessary infrastructure prevent the implementation of advanced treatment technologies.

Keywords: reverse logistics systems, National Solid Waste Policy (PNRS), sectorial agreements, proper disposal, production chain.

6.3 Introdução

A disposição final dos RSU são atualmente a grande problemática enfrentada pelos governantes em todo mundo, e da mesma forma no Brasil, tendo em vista que, mais de 29 milhões de toneladas são destinados a unidades inadequadas de tratamento (lixões e aterros controlados), o equivalente a 40,5% de todo o RSU coletado no país. Nesses sistemas não há impermeabilização nem tratamento do chorume, não havendo qualquer controle de contaminação do solo e do corpo hídrico, tendo uma estimativa de custo ambiental e para tratamento de saúde de cerca de USD 1 bilhão por ano (ABRELPE, 2020).

De acordo com Menezes *et al* (2021), a disposição final não só é uma das alternativas de destinação final ambientalmente adequada para os resíduos sólidos, como também pode designar um novo papel dos RSU na geração de energia, auxiliando na diversificação da matriz energética brasileira, substituindo combustíveis fósseis por energia limpa e sustentável. Na Europa, países como a Alemanha, se beneficiam da sua relação com os aterros sanitários para alcançar metas como a diminuição da emissão de GEE e geração de energia, através da mescla de alternativas de tratamento como reciclagem e métodos de tratamento biológico, como compostagem e digestão anaeróbica (EEA, 2016).

Um dos desafios da implementação de tecnologias de tratamento avançadas de resíduos sólidos urbanos no Brasil é o alto custo de aquisição e manutenção desses equipamentos. Além disso, pode haver falta de infraestrutura e de mão de obra treinada para operar essas tecnologias de forma eficaz (GIANNETTI *et al.*, 2003). As oportunidades incluem o potencial para reduzir o volume de resíduos enviados para aterros, gerar energia a partir de resíduos e criar novos produtos e materiais a partir de resíduos reciclados. Para superar esses desafios, pode ser necessário fornecer incentivos financeiros e apoio para a implementação dessas tecnologias, bem como investir em treinamento e infraestrutura.

A exigência crescente de que fabricantes e importadores sejam responsáveis pelos produtos e embalagens após o seu período útil está se tornando cada vez mais comum globalmente. Além disso, a implementação de Sistemas de Logística Reversa (SLR) tem sido impulsionado pela intensificação das leis ambientais.

A logística reversa, também conhecida como logística de retorno ou logística inversa, é definida como o processo de gerenciamento do fluxo de bens e materiais do ponto de consumo até a volta ao ponto de origem (FUCHS, 2022). Isso pode incluir atividades como a coleta, o transporte e o processamento de materiais usados ou resíduos para reutilização ou reciclagem, bem como a reparação, a reforma ou o descarte de bens que não são mais necessários.

O objetivo da logística reversa é reduzir o desperdício, minimizar o impacto ambiental de bens e materiais, e agregar valor através da reutilização ou da reciclagem de recursos. De acordo com (SILVA, 2015), a logística reversa pode ser aplicada a uma ampla gama de produtos e materiais, incluindo bens de consumo, produtos industriais, resíduos perigosos e resíduos eletrônicos, por exemplo.

No Brasil, a logística reversa passou a ser discutida mais a fundo a partir da década de 1980, período qual passaram-se a ter maiores problemas ambientais, por conta da elevada concentração populacional nas grandes metrópoles, levando a adversidades como a captação da água, o tratamento de efluentes e a coleta e tratamento de resíduos (FIRMINO, 2018).

O SLR de embalagens de agrotóxicos é considerado um exemplo bem-sucedido, tendo em vista que cerca de 80% das embalagens totais comercializadas são destinadas corretamente (IPEA, 2020). Com isso, toneladas de embalagens são recicladas anualmente, evitando a emissão de gases de efeito estufa e a contaminação indevida de solos e corpos d'água (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Com isso, políticas e regulamentações governamentais devem desempenhar um papel fundamental no incentivo e apoio à implementação de tecnologias de tratamento e estratégias de logística reversa para resíduos sólidos urbanos no Brasil. Além disso, o desenvolvimento de estruturas regulatórias de apoio, como leis e políticas de gestão de resíduos, podem ajudar a criar um ambiente favorável para a implementação dessas tecnologias.

6.4 Metodologia

No presente estudo, optou-se pela utilização da pesquisa documental como metodologia, de acordo com o proposto por (COUTO *et al.*, 2017) a qual baseou-se em

relatórios técnicos de instituições especializadas como SINIR+, MMA, Abrelpe, entre outros, bem como os relatórios de acompanhamento disponibilizados pelas entidades gestoras de cada SLR. Tais dados forneceram informações relevantes para a análise e interpretação dos resultados obtidos para uma melhor compreensão do atual cenário da logística reversa no Brasil.

Sendo assim, a pesquisa é classificada como exploratória em termos de objetivos, enquanto o método de abordagem adotado se enquadra no delineamento de pesquisa bibliográfica, conforme Gil (2007). Com base na revisão de estudos anteriores e atuais, é possível identificar áreas que podem se beneficiar de investigações adicionais.

Através da análise dos dados obtidos as informações foram sistematizadas para categorizar os principais indicadores de desempenho dos SLR, identificando seus aspectos críticos, lacunas e desafios.

6.5 Resultado e Discussão

6.5.1. Estruturas Regulatórias da Logística Reversa

6.5.1.1. Política Nacional de Resíduos

A PNRS é uma lei federal no Brasil que estabelece as diretrizes e as responsabilidades para a gestão de resíduos sólidos no país. A PNRS foi instituída pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, e foi atualizada pelo Decreto nº 11.300, de 22 de dezembro de 2022.

A PNRS estabelece um conjunto de objetivos e metas para a gestão de resíduos sólidos no Brasil, incluindo a redução da geração de resíduos, a promoção da reutilização e da reciclagem, a minimização dos impactos ambientais, e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010). A Política Nacional de Resíduos Sólidos também estabelece as responsabilidades dos diferentes atores envolvidos na gestão de resíduos sólidos, incluindo os governos, as empresas e os consumidores.

De acordo com o exposto no decreto, a PNRS é uma importante ferramenta para a gestão ambientalmente correta de resíduos sólidos no Brasil, e tem como objetivo promover a sustentabilidade ambiental, econômica e social do país. Sua implementação

se dá por meio de planos municipais de gestão de resíduos sólidos, que devem ser elaborados e aprovados pelos municípios brasileiros. Os planos municipais devem estabelecer as estratégias e ações para a implementação da PNRS em cada município, e devem ser revisados a cada cinco anos.

Nesse contexto, embora tenha havido um avanço significativo na destinação adequada de RSU nos últimos anos, com a disposição final em aterros sanitários alcançando 61% em 2022 (ABRELPE, 2022), ainda há a presença de lixões e aterros controlados em todo o país, estes sendo uma fonte constante de poluição e degradação ambiental e tendo impactos significativos na saúde da população.

6.5.1.2. Acordos Setoriais

Os acordos setoriais, que estão previstos na PNRS, são acordos firmados entre o poder público, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, e têm como objetivo compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010). Dessa forma, os acordos setoriais são uma forma de incentivar as empresas a adotarem práticas sustentáveis na produção, consumo e destinação final de resíduos, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a promoção da economia circular.

No entanto, apesar da importância dos acordos setoriais, ainda há desafios a serem enfrentados para sua efetividade na gestão de resíduos sólidos. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), embora tenha havido progresso na celebração de acordos setoriais, a ausência de sistemas efetivos de logística reversa ainda é um dos principais desafios para a implementação da PNRS. Ou seja, é necessário que as empresas assumam sua responsabilidade socioambiental não apenas na assinatura dos acordos setoriais, mas também na implementação de práticas sustentáveis em toda a cadeia produtiva, para que haja uma gestão efetiva e responsável dos resíduos sólidos.

Além disso, a PNRS também firmou acordos setoriais com os setores de Embalagens de Agrotóxicos, Eletroeletrônicos, Óleos Lubrificantes e Pneus. Todos esses acordos têm como objetivo a gestão ambientalmente adequada dos resíduos gerados pelos

produtos desses setores, e são fundamentais para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil.

6.5.2. Principais Sistemas Logística Reversa

6.5.2.1. Embalagem em geral

Um dos principais acordos setoriais firmados pela PNRS é o de Embalagens em Geral, assinado em 25 de novembro de 2015, que tem como objetivo assegurar a destinação ambientalmente adequada das embalagens pós-consumo. A Coalizão Embalagens, fundada em 2012, consiste em um conjunto de 8 entidades representativas do segmento empresarial de embalagens.

Em sua fase inicial, o foco das atividades do sistema estava voltado para as áreas urbanas e metropolitanas de Belo Horizonte, Cuiabá, Curitiba, Distrito Federal, Fortaleza, Manaus, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo. Atualmente o programa atende cerca de 374 municípios com pontos de coleta nos 26 estados e no Distrito Federal.

Segundo os dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR+), em 2020, foram recuperadas cerca de 256 mil toneladas de embalagens, dos quais 123.256 de Papel/papelão, 58.498 de vidro, 54.246 plástico, 13.916 de aço e 6.162 de Alumínio, como é representado no gráfico de gravimetria dos materiais recuperados, como é possível observar na figura 10.

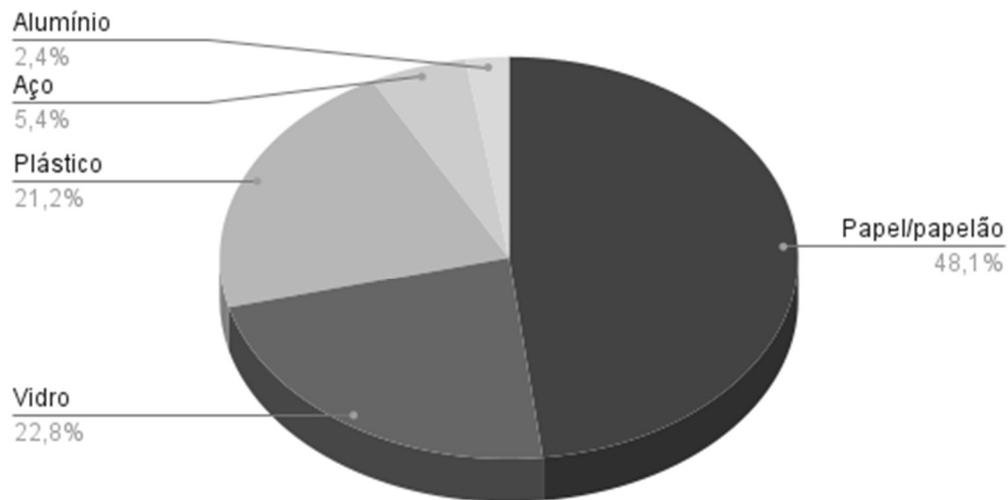


Figura 10. Gravimetria dos materiais recuperados pelos programas de logística reversa de embalagens em geral no ano de 2020 (t/ano e %). Fonte: SINIR+.

6.5.2.2. Embalagens de defensivos agrícolas

O Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (InpEV) é a entidade responsável pela gestão do Sistema Brasileiro de Logística Reversa de Embalagens Vazias de Defensivos Agrícolas. A celebração do acordo possibilitou implementar a responsabilidade compartilhada no ciclo de vida do produto, incentivando a economia circular e promovendo um sistema sustentável de produção e consumo.

De acordo com o divulgado pelo relatório anual de sustentabilidade (InpEV, 2021), no ano de 2021, foram processadas aproximadamente 53,5 mil toneladas de embalagens, sendo que 92,1% foram destinadas à reciclagem e 7,9% foram incineradas. O expressivo valor de processamento dos materiais é explicado devido aos variados pontos de coleta, contando atualmente com 411 unidades fixas, sendo 312 postos e 99 centrais de recebimento.

Ainda, segundo o relatório, a atuação do Sistema Campo Limpo, ao prolongar o ciclo de vida de materiais como o plástico, reduzir a extração de recursos naturais fósseis e impedir que embalagens vazias sejam destinadas inadequadamente (queimadas ou enterradas), evitou a emissão de 75.589 toneladas de gás carbônico e economizou 4 bilhões de megajoules de energia e 89,8 milhões de litros de água apenas em 2021.

6.5.2.3. Embalagens de óleos lubrificantes

O fabricante e o responsável pela importação de óleo lubrificante têm a obrigação de recolher, ou assegurar o recolhimento, e providenciar o descarte adequado do óleo lubrificante usado ou poluído, levando em consideração a quantidade de óleo lubrificante finalizado disponibilizado no mercado. O Instituto Jogue Limpo é a associação responsável pela logística reversa das embalagens plásticas de óleo lubrificante usadas e do óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC), composta por 67 empresas associadas fabricantes ou importadoras de óleo lubrificante.

Segundo o Relatório de Desempenho Anual de 2022 produzido pela empresa, o sistema ampliou sua cobertura para 4.394 municípios de 21 estados, mais o Distrito Federal, visitando em média 1.930 cidades por mês, o que significa que, pelo menos a cada 60 ou 70 dias, os caminhões do sistema chegam a todos os municípios atendidos. Além disso, o sistema apresentou crescimento na quantidade de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e nas Coletas por Campanha, tendo inaugurado 51 novos PEVs e encerrado o ano de 2022 com um total de 318 Pontos implantados.

Esse sistema permitiu que em 2022, 5.495 toneladas de embalagens fossem recebidas e destinadas de maneira ambientalmente correta, tendo 95% do total de plástico destinado para a reciclagem, caracterizando que 23,5% do total colocado no mercado de varejo pelos fabricantes e importadores foram destinados de forma ambientalmente correta. Ainda, a gestão da logística reversa do OLUC pelo Instituto Jogue Limpo resultou no recebimento de mais de 57 milhões de litros, dos quais mais de 56,7 milhões de litros (99,5% do volume coletado) foram destinados de maneira ambientalmente correta.

6.5.2.4. Lâmpadas fluorescentes

A Reciclus, Associação Brasileira para Gestão da Logística Reversa de Produtos de Iluminação, é a organização responsável por gerenciar a Logística Reversa das lâmpadas que contêm mercúrio, disponibilizando Pontos de Entrega em estabelecimentos comerciais em todo o Brasil. A Reciclus ainda organiza serviços de coleta gratuitos em condomínios residenciais para estimular a adesão ao programa de reciclagem.

A associação publica relatórios anuais de sustentabilidade em seu site oficial, abordando tópicos como pontos de coleta, volume de material coletado e indicadores relevantes. Em conformidade com o Relatório de Atividades de 2021, a Reciclus possui 3.043 Pontos de Entrega de lâmpadas no território brasileiro, sendo os cinco estados principais São Paulo (29,87%), Paraná (13,84%), Rio Grande do Sul (12,65%), Santa Catarina (10,22%) e Rio de Janeiro (9,00%). A abrangência do sistema de logística reversa de lâmpadas que contêm mercúrio está concentrada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, indicando a necessidade de expansão do programa para as demais regiões (RECICLUS, 2021).

Em 2021, foram coletadas 6.613.998 unidades de lâmpadas, registrando por volta de 300 mil lâmpadas coletadas a mais que no ano anterior. Esse registro pode-se ser atribuído ao sucesso das campanhas de conscientização e educação ambiental promovidas pela associação, assim como o aumento dos PEV's.

6.5.2.5. Equipamentos eletroeletrônicos

O lixo eletrônico, também conhecido como e-waste, refere-se a resíduos gerados por equipamentos eletrônicos descartados, como computadores, celulares, televisores e outros dispositivos.

O Acordo Setorial para implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos Domésticos e seus Componentes foi formalizado em 19/11/2019. Através deste Acordo Setorial, os participantes da cadeia produtiva de dispositivos eletroeletrônicos domésticos e seus componentes se responsabilizam em executar uma série de medidas para cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

No Brasil, a Associação Brasileira de Reciclagem de Equipamentos Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE) e a Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional (Green Eletron) são as principais entidades gestoras encarregadas pelo gerenciamento da logística reversa de resíduos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos.

De acordo com o Relatório Anual de Desempenho do SLR de Eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico (ABREE, 2022) e Relatório Anual De Resultados Da Logística Reversa De Eletroeletrônicos E Suas Embalagens (GREEN ELETRON,

2022), em 2021, foram recolhidas cerca de 1.960 toneladas de produtos eletroeletrônicos, e estabeleceram-se 4.229 pontos de coleta desses itens.

Entretanto, em pesquisa realizada pela gestora Green Eletron, revelaram-se informações preocupantes a respeito dos locais de coleta de resíduos eletrônicos, distribuídos de maneira desigual pelo território brasileiro. Os dados indicam que, embora 67% dos entrevistados já tenham conhecimento acerca dos pontos de descarte adequado, 25% nunca realizaram tal prática. Dentre estes, 21% afirmam que não há um local apropriado em sua área de residência, 21% mencionam que os pontos disponíveis estão distantes de suas moradias, e 20% declaram desconhecer o local correto para o descarte.

Com isso, percebe-se que a logística reversa de produtos eletrônicos no Brasil deve ser aprimorada para garantir a eficiência e a sustentabilidade do processo. Para isso, é fundamental aumentar a quantidade e a distribuição dos pontos de coleta de resíduos eletrônicos, bem como aumentar a publicidade em cima do tema, visando reduzir as desigualdades regionais e facilitar o acesso da população.

6.5.2.6. Baterias de Chumbo-Ácido

Em virtude do seu elevado potencial de contaminação, as baterias de chumbo-ácido estão submetidas à logística reversa. O Acordo Setorial foi firmado pelos produtores e seus representantes, recicladores, distribuidores, comerciantes e a entidade administradora denominada Instituto Brasileiro de Energia Reciclável (IBER).

Segundo a entidade, as baterias constituídas por chumbo-ácido possuem em sua composição plástico, chumbo e uma substância ácida, cujas proporções aproximadas são de 6%, 52% e 30%, respectivamente, em relação ao peso total. Adicionalmente, as baterias inutilizáveis têm, em média, um potencial de reciclagem de 99%, o que implica que há perdas insignificantes durante o processo de recuperação do material.

De acordo com o mais recente Relatório anual de Logística Reversa de Baterias Chumbo Ácido (IBER, 2021) divulgado, em 2021 o instituto possuía 280 empresas associadas, representando um crescimento de cerca de 40% no total de membros associados em comparação ao ano de 2020, além de contar com 331 pontos de recebimento de resíduos espalhados no país.

Ainda, destaca-se que o sistema coletou e destinou de forma ambientalmente correta 290.342 toneladas de baterias chumbo-ácido, resultando no reaproveitamento de 173.591 toneladas de ácido na condição líquida e 7.235 em estado sólido, provenientes da solução eletrolítica das baterias coletadas, além de 15.568 toneladas de materiais plásticos reciclados.

6.5.2.7. Pneus inservíveis

A Reciclanip é a entidade gestora da logística reversa de pneus inservíveis, que abrange coleta, transporte, armazenamento e destinação adequada dos resíduos. Os pneus descartados são coletados em pontos específicos e direcionados aos centros de triagem. Nesses locais, ocorre a separação dos reutilizáveis e inservíveis. Os inservíveis são encaminhados a unidades de processamento, onde são triturados e transformados em matéria-prima ou combustível alternativo, favorecendo a preservação ambiental e a economia circular.

Segundo o relatório pneumático 2021 (IBAMA, 2022), no ano de 2020, ocorreram o registro de 2.594 pontos de coleta, dos quais 1.268 estavam situados em localidades com mais de cem mil habitantes. Contudo, ainda restavam 22 municípios com essa condição populacional que não possuíam nenhum local declarado para coleta. Desde o lançamento do projeto em 1999 até o final de 2020, aproximadamente 5,6 milhões de toneladas de pneus inservíveis foram recolhidos e adequadamente encaminhados para destinação final, o que corresponde a um total de 1,1 bilhão de pneus automotivos de veículos de passeio. De acordo com os dados disponibilizados na plataforma SINIR+, em 2020 a destinação adequada de pneus inservíveis chegou a 379.931 mil toneladas.

Em relação às tecnologias apropriadas para o descarte destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis, a utilização de fornos rotativos na fabricação de clínquer se mantém como a principal abordagem adotada no país. Ao todo, 32 companhias produtoras de cimento reportaram essa modalidade de destinação ao IBAMA, o que equivale a 62,10% do total de pneus encaminhados para tratamento adequado.

6.5.2.8. Medicamentos

No ano de 2020, o Governo Federal divulgou o Decreto Federal nº 10.388, responsável por estabelecer a regulamentação do sistema de logística reversa para medicamentos em território nacional. Tal decreto estipula que as farmácias e drogarias devem oferecer e manter, em cada uma de suas unidades, no mínimo um local específico para coleta a cada conjunto de 10 mil habitantes.

Na primeira fase do projeto estabeleceu-se o Grupo de Monitoramento de Desempenho (GAP), grupo multissetorial encarregado de elaborar o processo integral da operação em todas as etapas da cadeia farmacêutica e de criar um portal onde os participantes da cadeia inserem os volumes coletados.

Em 2021, o Sindicato da Indústria de Produtos Farmacêuticos (Sindusfarma), que faz parte do GAP, conseguiu direcionar ecologicamente 52,8 toneladas de resíduos de medicamentos vencidos ou não utilizados. A coleta desses resíduos ocorreu em 3.634 PEVs, espalhados por 74 municípios de 20 estados, incluindo o Distrito Federal (ABRELPE, 2022).

6.5.3. Desafios de implementação dos SLR

A presente pesquisa aponta alguns dos principais Sistemas de Logística Reversa, bem como os principais dados disponibilizados pelas entidades gestoras de cada sistema e os avanços conquistados em cada setor. A partir da análise dos relatórios divulgados pelas entidades gestoras de cada SLR e das autoridades fiscalizadoras, foi possível inferir a composição dos múltiplos obstáculos que os setores de produção enfrentam durante a implementação dos seus SLR.

Como apresentado anteriormente, alguns SLR se formaram e entraram funcionamento antes mesmo da promulgação da Lei nº 12.305/2010, por meio de resoluções do CONAMA, como: embalagens de agrotóxicos (resolução nº 334/2003); pneus inservíveis (Resolução nº 416/2009); OLUC (Resolução nº 362/2005); pilhas e baterias (Resoluções nº 401/2008 e nº 424/2010).

Atualmente, a Constituição Federal Brasileira aborda de maneira ampla questões relacionadas ao meio ambiente, atribuindo à União, aos estados, ao Distrito Federal e aos municípios a responsabilidade de preservar a natureza e combater a poluição. As

principais legislações que regulamentam e gerenciam a destinação dos RSU no Brasil são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6. Principais dispositivos legais que regulamentam a gestão de resíduos sólidos no Brasil.

Instrumento	Objetivo
Lei nº 9.605/1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei nº 11.107/2005	Dispõe sobre a gestão associada, com destaque para os consórcios públicos, com o objetivo de assegurar a estabilidade jurídica e alcançar economia de escala por meio da redução de custos para gerenciamento dos serviços públicos, incluindo a gestão de resíduos sólidos urbanos, na medida do possível.
Lei nº 11.445/2007	A medida autorizou a unificação dos serviços de fornecimento de água e tratamento de esgoto com os de gerenciamento de águas pluviais, além dos serviços de limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos, agregando uma abordagem interdisciplinar ao planejamento do saneamento básico.
Lei nº 12.305/2010	Estabelece diretrizes, metas e estratégias para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos que, por sua vez, está atrelado à execução dos serviços de limpeza urbana, decretando também que a responsabilidade da gestão de resíduos sólidos deve ser de maneira compartilhada.
Lei nº 14.026/2020	Definida como o Novo Marco Legal do Saneamento, a legislação atualiza a Lei nº 11.445/2007, e tem como principais objetivos a universalização dos serviços de saneamento básico, o encerramento dos lixões e o incentivo à recuperação de resíduos.
	Estabelece o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) como importante instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, tendo como objetivo promover ações que visam reduzir a geração e a disposição

Decreto nº 11.043/2022	inadequada de RSU, aumentar a reciclagem e melhorar a gestão dos resíduos sólidos, além de incentivar a responsabilidade compartilhada na geração, manejo e destinação final dos RSU.
------------------------	---

Fonte: Elaboração própria.

Embora haja um conjunto de estruturas regulamentares que foram estabelecidas ao longo das últimas duas décadas, a plena eficácia dessas leis está condicionada a diversos fatores, incluindo a coordenação de múltiplos atores, planejamento técnico apropriado e a alocação adequada de recursos humanos e ambientais. De acordo com Gouveia (2012), existem limitações significativas para a implementação de certos dispositivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), como a falta de locais apropriados para a construção de aterros sanitários e a sobrecarga dos serviços ecossistêmicos que estão relacionados com a biodegradação do grande volume de resíduos produzidos, especialmente nas áreas metropolitanas do país.

Para com Silva *et al.* (2010), é necessário realizar muito mais para garantir um gerenciamento integrado de resíduos adequado. Esse gerenciamento depende de vários fatores, incluindo a vontade política dos municípios, o investimento em recursos humanos e financeiros, a construção de infraestrutura e a aplicação de técnicas inovadoras. Além disso, a participação cidadã, solidária e o controle social são essenciais para o sucesso do gerenciamento integrado de resíduos. Nota-se a ausência de instrumentos financeiros que dêem suporte aos SLR a serem implementados.

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2022), na fase de implementação o montante pode ser proveniente de diferentes origens como fundos de investimento, financiamento, doações, etc. Enquanto que para garantir a continuidade dos recursos destinados ao custeio, é necessário que haja contribuições dos usuários por meio de instrumentos de pagamento pela utilização ou disponibilidade dos serviços. Essa é uma prática já adotada em relação a todos os demais serviços públicos oferecidos à sociedade. É fundamental que haja uma fonte de recursos contínua para garantir a manutenção adequada dos serviços de gestão de resíduos sólidos. Ressalta-se que, até que esses sistemas de cobrança estejam devidamente organizados e operando, muitas das soluções propostas serão inviáveis de serem implementadas.

Segundo Araújo *et al.* (2013) e Couto *et al.* (2017), quanto aos problemas operacionais, os principais desafios são: estabelecer parcerias com associações e

cooperativas para auxílio na operação de SLR; investir em pesquisa para o desenvolvimento de novas técnicas de reciclagem; a construção de um fluxo de logística reversa sólido e apoiado e aumento participação da comunidade acadêmica nas discussões municipais. Conforme apontado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) em 2012, os desafios financeiros relacionados ao transporte e tratamento de resíduos são as principais barreiras enfrentadas pelas empresas de pequeno e médio porte para a implementação efetiva de práticas de logística reversa.

A PNRS tem promovido diversos avanços, principalmente no que diz respeito à organização e consolidação de princípios e instrumentos esparsos na legislação ambiental brasileira. Entretanto, é importante destacar alguns aspectos, como os mencionados anteriormente, que ainda requerem investimentos para que a norma regulatória referente a resíduos sólidos seja amplamente eficiente. Cabe ressaltar, ainda, que apesar de existirem estruturas reguladoras e portais de prestação de contas, muitas das informações contidas nos bancos de dados nacionais e municipais estão desatualizadas ou inconsistentes, o que impede uma análise precisa da situação. Essa falta de precisão dificulta o acesso às informações necessárias para a realização de novas pesquisas, como essa, e para a tomada de decisões pelos gestores públicos.

6.6 Conclusão

Em linhas gerais, pôde-se notar um indicativo de aumento na destinação correta de resíduos sólidos por meio das estruturas regulatórias da logística reversa, o que é de grande importância, considerando que a disposição ambientalmente adequada é crucial para garantir a sustentabilidade ambiental, a saúde pública e o desenvolvimento socioeconômico a longo prazo. No entanto, a velocidade observada ao longo dos últimos anos não se revela suficientemente ágil para enfrentar o déficit histórico existente em várias áreas, apesar das normas legais e outros instrumentos regulatórios que visam modificar essa situação.

Com base nas informações divulgadas pelas principais organizações gestoras dos Sistemas de Logística Reversa, pode-se notar que os SLRs com melhor desempenho em termos de abrangência e reaproveitamento de materiais são aqueles que já possuíam regulamentações previamente à implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010, como no caso de pneus inutilizáveis, óleo lubrificante e embalagens de

agrotóxicos. Isso ocorre devido ao fato de que a maioria dos novos sistemas enfrenta desafios relacionados à adaptação de leis e regulamentações, bem como à disponibilização de recursos financeiros para viabilização.

O apoio do Poder público é um fator indispensável para garantir o êxito na implementação dos programas de logística reversa no Brasil. Isso se deve à natureza abrangente e interconectada das iniciativas de logística reversa, que requerem regulamentações sólidas e coerentes, alocação de recursos financeiros adequados, coordenação entre diversos atores e a criação de uma cultura de responsabilidade ambiental. Além disso, a conscientização pública, a fiscalização rigorosa e a promoção de incentivos para a participação ativa das empresas dependem do compromisso político, visando a transformação dos sistemas de gerenciamento de resíduos em práticas mais sustentáveis e benéficas tanto para o ambiente quanto para a sociedade.

6.7 Referências

ABREE. **Relatório Anual de Desempenho do Sistema de Logística Reversa (SLR) de Eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico**. São Paulo. 2022. 41 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2020**. São Paulo: Abrelpe, 2020. 51 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2022**. São Paulo: Abrelpe, 2022. 52 p.

ARAÚJO, A. C. **Logística reversa no comércio eletrônico: um estudo de caso**. Gestão e Produção. v20, n. 2, p. 303320, 2013.

BALDÉ, C.P. *et al.* (2017). **The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources**. United Nations University, International Telecommunication Union & International Solid Waste Association.

BRASIL. Decreto nº 10.388, de 5 de junho de 2020. **Institui a Política de Inovação Educação Conectada**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2020. Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10388.htm. Acesso em: 02 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. **Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 abr. 2005.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2010, n. 147, p. 3-7, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº 8.036, de 11 de maio de 1990, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jan. 2007.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jul. 2002.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002. **Estabelece procedimentos e critérios para a autorização de exploração de recursos hídricos com vistas à lavra de minerais.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 out. 2002.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 out. 2002.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005. **Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 maio 2005.

COUTO, Maria Claudia Lima *et al.* **Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 889-898, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017149403>.

EEA, 2016. Agência Europeia do Ambiente. **Resource efficiency and waste.** Municipal waste management across European countries (2016).

FIRMINO, Camila Dandara Brito. **Logística reversa do esgoto doméstico e águas pluviais para geração de biogás e atividades não potáveis.** 2017. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2018.

FUCHS, Nathalia Carolina Machado Majewski. **Logística reversa e a esfera ambiental do ESG nas empresas.** 2022. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Direito, Direito, Instituição de Ensino Superior (Ies) do Grupo Ânima Educação., Curitiba, 2022.

GIANNETTI, Biagio Fernando *et al.* **Implementação de Eco-Tecnologias rumo à ecologia industrial.** Rae Eletrônica, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 1-19, jun. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1676-56482003000100011>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social.** Ciênc. saúde coletiva, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GREEN ELETRON. **Relatório Anual de Atividades da Green Eletron 2021.** São Paulo: ABINEE, 2021. 100 p.

IBER - Instituto Brasileiro de Energia Renovável. Relatório de Desempenho de Baterias 2021. Disponível em: https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/12/Relatorio_de_Desempenho_Baterias_IBER_2021.pdf. Acesso em: 24 fev. 2023.

INSTITUTO JOGUE LIMPO (org.). **Relatório de Desempenho Anual 2022.** Rio de Janeiro: 2022. 62 p.

INPEV - INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS (Brasil). Coordenação Presidência e Sustentabilidade (Inpev) (org.). **Relatório de Sustentabilidade 2021: gestor do sistema campo limpo, sistema brasileiro de**

logística reversa de embalagens vazias de defensivos agrícolas. 19. ed. São Paulo (Sp): 2021. 72 p.

IPEA. (2012). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais.** Brasília.

IPEA - SZIGETHY, Leonardo et al. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** 2020. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MENEZES Neto, J. T., Domingues, E. G., Carvalhaes, V. & Alves, A. J. 2021w. **Technoeconomic viability analysis of gasification technology as a sustainable alternative for electric power generation from municipal solid waste.** *Gestão & Produção*, 28(4), e5756, <https://doi.org/10.1590/18069649-2021v28e5756>

PLANARES. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares** Brasília, DF: MMA, 2022. p. 209 Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

RECICLUS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA GESTÃO DA LOGÍSTICA REVERSA DE PRODUTOS DE ILUMINAÇÃO (Brasil) (org.). **Relatório de Atividades 2021.** São Paulo. 2021. 153 p.

SILVA, E. R.; CARMO, E. C. L.; GONÇALVES, P.; BENTO, R. F. P.; MATTOS, U. A. O. **Planejamento participativo para a implantação da coleta seletiva solidária no estado do Rio de Janeiro, RJ:** Ações e resultados. In. VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2010.

SILVA, André Luiz Emmel; MORAES, Jorge André Ribas; MACHADO, Ênio Leandro. **Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de ecodesign e logística reversa.** *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 29-37, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000087843>.

7. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

No Brasil, o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos é um desafio de grande magnitude. Embora seus efeitos sejam observados principalmente em escalas locais, seus impactos socioambientais são extensos e afetam diversos setores da sociedade. A presente pesquisa teve como objetivo promover uma análise, a partir dos dados obtidos na revisão sistemática, do cenário nacional acerca da gestão de resíduos e suas disposições, avaliando a eficácia dos Sistemas de Logística Reversa e da implementação de novas metodologias e tecnologias de tratamento para a gestão sustentável de resíduos sólidos recicláveis no Brasil.

De acordo com a revisão sistemática dos artigos analisados, a mistura, a digestão anaeróbica e a incineração/gaseificação são as metodologias mais estudadas para tratamento de resíduos no Brasil, a primeira sendo importante na redução dos custos de matéria prima e para destinação adequada dos resíduos. Enquanto a digestão anaeróbica e a incineração/gaseificação já são comumente utilizadas, possuindo diferentes modelos e com conhecimento difundido nas comunidade tecnocientífica a respeito da redução de volume e massa do resíduo e da capacidade de recuperação energética. Por meio da análise cientométrica conduzida foi possível inferir que grande quantidade dos estudos sobre novas tecnologias ou práticas mais eficientes de gestão de resíduos se encontram concentrados nas regiões Sul e Sudeste, que, conseqüentemente, são as regiões que mais recebem recursos destinados para a limpeza urbana.

Ainda, através da análise dos principais relatórios divulgados pelas entidades gestoras de cada acordo setorial e das autoridades fiscalizadoras foi possível mensurar a eficácia dos principais SLR, e com isso identificar os desafios e brechas legais, logísticas e econômicas que a maioria dos novos sistemas enfrenta. Estes resultados corroboram a hipótese inicial deste trabalho de que a ausência de infraestrutura e incentivos públicos são a principal causa da não implementação de novos processos de tratamento de resíduos. Dessa forma, pode-se concluir que as pesquisas mais relevantes sobre a caracterização de resíduos, métodos de tratamento e SLR discutidos neste estudo são cruciais para a orientação e elaboração de políticas públicas, bem como para a tomada de decisões em relação à gestão de resíduos sólidos. Espera-se, ainda, que este trabalho forneça subsídio para estimular o debate acerca da gestão integrada de resíduos sólidos nos ambientes acadêmicos.

Com isso, o trabalho apresenta uma diversidade de soluções tecnológicas para enfrentar a problemática da destinação e disposição final dos RSU. Entretanto, é notório que obstáculos políticos e econômicos têm obstado a disseminação e adoção dessas tecnologias. Portanto, com base na atual conjuntura dos RSU no Brasil, é possível inferir que serão requeridos investimentos substanciais e uma efetiva coalisão entre o setor público e o setor privado, a fim de alcançar a universalização da destinação adequada dos resíduos sólidos nos próximos anos.

8. REFERÊNCIAS

ABNT 10004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Brasil: 2004. 71 p.

ABIB - Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa, Bioenergia, Bioeletricidade, Pelletes e Energias Renováveis. **Atlas brasileiro de biomassa e bioenergia**. Brasil: 2020. 191 p.

ABRELPE. **Lixo Fora D'Água**: ações para aprimorar a gestão de resíduos e evitar a poluição hídrica. São Paulo: 2020. 76 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2020**. São Paulo: Abrelpe, 2020. 51 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2021**. São Paulo: Abrelpe, 2021. 53 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos no Brasil 2022**. São Paulo: Abrelpe, 2022. 52 p.

ASSAD, Leonor; SIQUEIRA, Thais. **Lixões continuam por toda parte**. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 68, n. 2, p. 08-10, June 2016. Available from <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252016000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 23 jan. 2023. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000200004>.

AÇMA, H. H. **Combustion characteristics of different biomass materials**. *Energy Conversion e Management*. Istambul: pergamon, v. 44, p. 155- 162, 2003.

AZEVEDO, Afonso R. et al. Development of mortar for laying and coating with pineapple fibers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 187-193, mar. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p187-193>.

BANCO MUNDIAL. **Solid Waste Management**. 2022. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>> Acesso em: 20 nov. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Atualizada pelo Decreto nº 11.300, regulamenta dispositivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, de modo a tratar de regras e procedimentos da logística reversa das embalagens de vidro. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2022, n. 250, p. 20-26, 22 dez. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2010, n. 147, p. 3-7, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2020, n. 135, p. 1-8, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 7 fev. 2021.

CANAL RURAL. **Estudo ressalta papel do Brasil como um dos maiores produtores agrícolas do mundo**. 2021. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/estudo-ressalta-brasil-maiores-produtores-agricolas/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

DALMO, Francisco César; SIMÃO, Nathalia Machado; LIMA, Heleno Quevedo de; JIMENEZ, Ana Carolina Medina; NEBRA, Silvia; MARTINS, Gilberto; PALACIOS-BERECHE, Reynaldo; SANT'ANA, Paulo Henrique de Mello. **Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil**. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 212, p. 461-474, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.016>.

EEA, 2016. Agência Europeia do Ambiente. **Resource efficiency and waste**. Municipal waste management across European countries (2016).

EEA, 2016. Agência Europeia do Ambiente. Eficiência de recursos e desperdício. **Gestão de resíduos municipais em todos os países europeus**. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/municipal-wastemanagement-entre-paises-europeus>. Acessado em setembro de 2020.

EFING , A. C.; FERNANDA MACIEL DA SILVA, J. **O ENFRENTAMENTO DE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO INADEQUADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS SOB O VIÉS AMBIENTAL E O CONSUMO CONSCIENTE**. Revista da Faculdade de Direito do Sul de Minas, [S. l.], v. 36, n. 1, 2020. Disponível em: <https://revista.fdsu.edu.br/index.php/revistafdsu/article/view/281>. Acesso em: 24 fev. 2023.

ESTENDER, Antonio Carlos. O conceito do desenvolvimento sustentável. Terceiro Setor, Guarulhos, v. 2, n. 1, p. 22-27, 2008.

FARIA, F. S., 2002, **Índice da qualidade de aterros de resíduos urbano**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FIRMINO, Camila Dandara Brito. **Logística reversa do esgoto doméstico e águas pluviais para geração de biogás e atividades não potáveis**. 2017. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2018.

GENTIL, L. V. **Um atraente biocombustível**. Agroanalysis, Rio de Janeiro, v. 29, n. 9, p. 19, 2009.

ISWA – THE INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **Saúde desperdiçada: o caso dos lixões**. Viena: 2015. 38 p.

ISWA – THE INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **O futuro do setor de gestão de resíduos: tendências, oportunidades e desafios para a década (2021-2030)**. Viena: 2021. 30 p.

LACERDA, Leonardo. (2002) – **Logística reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais**. Rio de Janeiro, COPPEAD/UFRJ.

LINO, F.A.M.; ISMAIL, K.A.R.. **Evaluation of the treatment of municipal solid waste as renewable energy resource in Campinas, Brazil**. Sustainable Energy Technologies

And Assessments, [S.L.], v. 29, p. 19-25, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.011>.

LINO, F.A.M.; ISMAIL, K.A.R.. **Incineration and recycling for MSW treatment: case study of campinas, brazil**. Sustainable Cities And Society, [S.L.], v. 35, p. 752-757, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.028>.

LOPES, Mayra dos Santos. **Práticas de Gerenciamento aplicadas à resíduos químicos em laboratório de ensino e pesquisa no município de Caçapava do Sul - RS**. 2018. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2018.

LUZ, Fábio Codignole; ROCHA, Mateus Henrique; LORA, Electo Eduardo Silva; VENTURINI, Osvaldo José; ANDRADE, Rubenildo Vieira; LEME, Marcio Montagnana Vicente; OLMO, Oscar Almazán del. **Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil**. Energy Conversion And Management, [S.L.], v. 103, p. 321-337, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.074>.

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR., A.; COUTINHO, S. e CARVALHO, F. (2004), **Modelos para a Construção de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para a Gestão e Gerenciamento de Resíduos**. ICTR – Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável e NISAM – USP Núcleo de Informações em Saúde Ambiental da USP, Florianópolis. In Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável - Florianópolis–SC.

MARCHEZETTI, Ana Lúcia; KAVISKI, Eloy; BRAGA, Maria Cristina Borga. **Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares**. Ambiente Construído, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 173-187, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212011000200012>.

MARIANO, Maria Odete Holanda. **Estudo da Composição dos RSU do Projeto Piloto para Recuperação do Biogás no Aterro da Muribeca/PE**. In: VI CONGRESSO. Brasil, 2007. p. 1-8.

MEIRELES, Jaqueline Fernanda. **O Planejamento Urbano na Gestão de Resíduos Sólidos e Mudanças Climáticas**. Revista Pleiade, [s. l], v. 38, n. 17, p. 5-12, 15 mar. 2023.

MENEZES Neto, J. T., Domingues, E. G., Carvalhaes, V. & Alves, A. J. 2021w. **Technoeconomic viability analysis of gasification technology as a sustainable alternative for electric power generation from municipal solid waste.** *Gestão & Produção*, 28(4), e5756, <https://doi.org/10.1590/18069649-2021v28e5756>

NAUMOFF, Alexandre Feraz; PERES, Clarita Schwartz. Reciclagem de matéria orgânica. In: D'ALMEIDA, Maria L. O.; VILHENA, André. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

NERI, Marcelo. **Mapa da Nova Pobreza.** Rio de Janeiro: FGV Social, 2022. 27 p. Disponível em: <https://cps.fgv.br/MapaNovaPobreza>. Acesso em: 27 set. 2022.

ONU. **8 bilhões de pessoas, uma humanidade.** 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805267>. Acesso em: 04 dez. 2022.

PAULA, Marcos O. de et al. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 353-357, jun. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662009000300019>.

PAZZINI, Humberto Santiago. Logística reversa e a dinâmica de geração de **resíduos: o caso porto de Paranaguá.** *Sustainable Business International Journal*, v. 42, p. 1-24, out. 2014.

PEDROSA, T. D., Farias, C. A. S., Pereira, R. A., & Farias, E. T. do R. (2013). **MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS.** *Nativa*, 1(1), 44-48. <https://doi.org/10.31413/nativa.v1i1.133>

PEREIRA AS, Oliveira LB, Reis MM. **Emissões de CO2 Evitadas e Outros Benefícios Econômicos e Ambientais Trazidos pela Conservação de Energia Decorrente da Reciclagem de Resíduos Sólidos no Brasil.** In: Anais do III Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica; 1999; Recife [CD-ROM]

PLANARES. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares** Brasília, DF: MMA, 2022. p. 209 Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

SANTAELLA, Sandra T. et al. **Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira**. Fortaleza: UFC/LOBOMAR/NAVE, 2014, p. 38-40.

SCHENBERG, Ana Clara Guerrini. **Biotecnologia e desenvolvimento sustentável**. Estudos Avançados, [S.L.], v. 24, n. 70, p. 07-17, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142010000300002>.

SEMAGEO - SEMANA DE GEOGRAFIA, 8., 2018, Cajazeiras. **Desenvolvimento Sustentável para Agricultura Familiar no Município de Bernardino Batista-PB**. Cajazeiras: -, 2018. 219 p.

SOUSA, C. A. F. de; CAMPOS, J. C. B.; OLIVEIRA, B. M. de. **Panorama do gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil e no Nordeste após a implementação do PNRS**. Revista Científica ANAP Brasil, [S. l.], v. 9, n. 15, 2016. DOI: 10.17271/1984324091520161433. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/1433. Acesso em: 23 jan. 2023.

SOUZA, Marcos Felipe Alonso de. **Logística reversa e educação ambiental empresarial para a sustentabilidade em face da Lei 12.305/2010**. Rio Grande: Âmbito Jurídico, 2017

SOUZA M do CBM, Mello IS. **Resíduos sólidos: coleta seletiva estímulo para o aumento da reciclagem e melhoria de renda dos catadores**. Rev. G&S [Internet]. 6º de outubro de 2015 [citado 12º de abril de 2021];6(3):Pág. 2959-2981. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rgs/article/view/3293>

SZYMANSKI, Mariani Silvia Ester et al. **Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono :: estudo de caso**. Semina: Ciências Agrárias, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 901, 20 dez. 2010. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4p901>.

TAVARES, F.; FERREIRA, G. G. T. **Marketing verde: um olhar sobre as tensões entre greenwashing e ecopropaganda na construção do apelo ecológico na comunicação publicitária**. Revista Espaço Acadêmico, v. 12, n. 138, p. 23-31, 10 out. 2012.

VÁSQUEZ, Silvestre Fernández. **Possíveis impactos da biotecnologia no meio ambiente, especialmente na população humana.** Revista Biociências, Taubaté, v. 14, n. 1, p. 69-75, 1 jan. 2008. 1.