

# OS FATORES DE INFLUÊNCIA NAS PRÁTICAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDO NO BRASIL: Uma Revisão Sistemática Prisma

**LUANA ARAÚJO MATOS**  
UNIVERSIDADE POTIGUAR

**HILDERLINE CÂMARA DE OLIVEIRA**  
UNIVERSIDADE POTIGUAR

**PATRÍCIA PULCINI ROSVALD DONAIRE**

**WANDERSON FERNANDES MODESTO DE OLIVEIRA**

## **Introdução**

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos é uma prática que utiliza os resíduos, não recicláveis, como insumos na produção de diversos tipos de energia, na forma de calor e eletricidade. Diversas tecnologias podem ser utilizadas para a geração de energia que trata dos resíduos sólidos como matéria prima nessa produção (Beyene et al, 2018). A utilização dos resíduos como recursos energéticos podem contribuir para a redução considerável dos impactos ambientais e produção de energia sustentável.

## **Problema de Pesquisa e Objetivo**

Este estudo parte do pressuposto da abordagem teórica da economia circular, que defende a ascensão econômica com deferência ao meio ambiente (STAHEL, 1984), em uma integração mútua com as cadeias produtivas atuais, tem-se o desafio de integrar essa conduta à realidade da economia pós-moderna, que converge para a produção de energia gerada a partir dos resíduos sólidos urbanos, em convergência ao ODS. O objetivo da pesquisa é levantar os fatores de influência para o desenvolvimento as práticas de aproveitamento energético no Brasil, por meio de uma revisão sistemática no modelo prisma.

## **Fundamentação Teórica**

A proposta de aproveitamento energético dos resíduos para a realidade brasileira, mostra a necessidade crescente dos países em desenvolvimento, em lidar com fatores consequentes do aumento da urbanização, do aumento do consumo de bens e serviços e do desenvolvimento tecnológico, que contribuem com o aumento expressivo da produção de resíduos nas cidades. Além da geração de resíduos, a disparidade entre a oferta e demanda de energia, é outra questão consequente do crescimento populacional e dos modelos econômicos vigentes, que leva ao crescente fluxo de produção convencional (Alao, 2022).

## **Metodologia**

Este estudo bibliográfico, obedeceu ao protocolo estrutural da revisão sistemática do método prisma (Moher et al., 2015). Este método de revisão refere-se a uma sistematização dos estudos relevantes que fazem contribuições ao arcabouço de estudos acadêmicos, podendo apoiar as agendas de desenvolvimento de temas específicos (Moher et al., 2006; Mendes da Silva, 2019).

## **Análise dos Resultados**

A gestão sustentável e segura dos resíduos é um desafio em países em desenvolvimento, a forma de abordagem envolve múltiplos benefícios nas dimensões econômicas, sociais e ambientais que devem ser avaliadas juntamente com os custos de operacionais de implementação e as questões sociais que precisam subsidiar o planejamento e as políticas públicas (Siddiqi et al. 2022). Os principais desafios para a implementação da produção de energia WTE estão voltados para aspectos básicos, nas dimensões econômicas, nas questões sustentáveis e aos aspectos sociais locais (Khan e Kabir, 2020).

## **Conclusão**

Os aspectos políticos, que criam uma estrutura viável para a produção de energia com resíduos, que definem políticas públicas que regulamentam e dão segurança jurídica para o desenvolvimento do setor. Em seguida, os fatores econômicos de custos, receitas e investimentos, que possuem o potencial de dá condições financeiras para as implementações dessas usinas dentro do mercado brasileiro. Assim como, os fatores ambientais e a corresponsabilidade da sociedade como um fator de influência social relevante, com ações cooperativas que contribuam para educação e consciência ambiental para o ODS.

## **Referências Bibliográficas**

DALMO, F. C et al. Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. *Cleaner Production*, v. 212, 2019. KHAN, I.; KABIR, Z. Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: A multi-criteria analysis for sustainability assessment. *Renewable Energy*, v.150, 2020. SIDDIQI, A.; HARAGUCHI, M.; NARAYANAMURTI, V. Urban waste to energy recovery assessment simulations for developing countries. *World Development*, v. 131, p. 104949, 2020.

## **Palavras Chave**

Aproveitamento Energético dos Resíduos, Energia WTE, Waste-to-Energy

## **Agradecimento a órgão de fomento**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

# OS FATORES DE INFLUÊNCIA NAS PRÁTICAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL: Uma Revisão Sistemática Prisma

## 1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento energético dos resíduos é uma prática que utiliza os resíduos sólidos urbanos como insumos na produção de diversos tipos de energia, na forma de calor e eletricidade. Diversas tecnologias podem ser utilizadas para a geração de energia que trata dos resíduos sólidos como matéria prima na produção (Beyene et al, 2018).

A utilização dos resíduos como recursos energéticos podem contribuir para a redução considerável dos impactos ambientais e produção de energia sustentável. Os diversos tipos de usinas de resíduos em energia são capazes de produzir energia com custo bem mais baratos e se utilizar do lixo para a geração de energia, atuando como solução potencial de redução dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em grandes escalas. Assim como, na geração de alternativa para o setor de energia limpa (Khan e Kabir, 2020).

De acordo com o Banco Mundial, os numerosos volumes de resíduos gerados seguem um aumento em escala global de produção, algo em torno de dois bilhões de toneladas no ano de 2018, com estimativa de aumento de 2,59 bilhões até 2030 (Kaza et al, 2018). E paralelo a isso, a maioria das demandas de energia são atendidas por combustíveis fósseis de alto custo e os recursos convencionais de energia são limitados e estão reduzindo rapidamente, o que causa um aumento gradual do custo benefício do seu consumo (Farooq et al, 2020).

O termo “*waste-to-energy*” ou apenas a expressão energia “WTE” foi utilizada neste estudo para caracterizar o tipo de energia gerado pelos resíduos sólidos urbanos (RSU). Essa nomenclatura foi empregada para distinguir esse tipo de energia das demais e tratar as alternativas de tecnologias disponíveis para este tipo de produção energética.

Este estudo parte do pressuposto da abordagem teórica da economia circular, que defende a ascensão econômica com deferência ao meio ambiente (STAHTEL, 1984), em uma integração mútua com as cadeias produtivas atuais, tem-se o desafio de integrar essa conduta à realidade da economia pós-moderna, que converge com a proposta de produção de energia gerada a partir dos resíduos sólidos urbanos para essas cadeias, com a redução dos fluxos de resíduos e a cooperação múltipla torna-se possível a gestão sustentável dos RSU que favorece ao desenvolvimento sustentável no Brasil.

O objetivo geral da pesquisa é levantar os fatores de influência para o desenvolvimento as práticas de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos no mercado brasileiro, com a realização de uma revisão sistemática (RS) que seguiu o modelo PRISMA (Moher et al, 2015).

A relevância da pesquisa consiste em razões teóricas acerca da contribuição nos estudos acadêmicos sobre a temática da gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos, na busca de soluções para a resolução desta problemática, com vista na valorização da alternativa de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, e sua complexidade.

Assim como, no fomento de conhecimento de escolhas que comungam com a redução da poluição causada pelo lixo, conforme os objetivos da Organização das Nações Unidas (ONU,

2018), tendo como norte os objetivos regulamentados pela política nacional de resíduos sólidos (PNRS, 2010), juntamente com recente Portaria Interministerial de abril de 2019, que trata da recuperação energética dos RSU como possibilidade ambientalmente adequada e classifica os resíduos como fonte de alternativa de energia e reforça a necessidade de uso de licenças ambientais para o setor, estabelecendo diretrizes operacionais e planos contingenciais (BRASIL, 2021; ABREEN, 2021, p.17).

Este artigo está estruturado a partir da introdução, a fundamentação teórica sobre a temática do aproveitamento energético no Brasil, em seguida apresenta os métodos e procedimentos para o desenvolvimento deste estudo. Após isso, os resultados e discussões, seguida das considerações finais.

## 2. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO RESÍDUOS NO BRASIL

A proposta de aproveitamento energético dos resíduos sólidos para a realidade brasileira, mostra a necessidade crescente dos países em desenvolvimento, em lidar com fatores consequentes do aumento da urbanização, do aumento do consumo de bens e serviços e do desenvolvimento tecnológico, que contribuem diretamente com o aumento expressivo da produção de RSU nas cidades (Beyene et al., 2018).

E para além da geração de resíduos, a disparidade entre a oferta e demanda de energia, é outra questão consequente do crescimento populacional e dos modelos econômicos vigentes, que leva ao crescente aumento da produção convencional, que também é centralizada na produção de combustíveis fósseis, considerado não sustentável, devido ao esgotamento dos recursos naturais e sua produção causa emissões de gases de efeito estufa (Alao,2022).

É indiscutível que, os aspectos de governança normalmente explicam como uma sociedade contribui para o alcance de soluções de problemas complexos, como a gestão de resíduos, e no caso do Brasil, cabe a gestão pública municipal a responsabilidade da coleta e destinação dos RSU, e cerca de 95% dos resíduos coletados nos municípios, são depositados em aterros ou despejados em três tipos de locais de disposição de resíduos: lixões, aterros insalubres e aterros sanitários. (Tisi *et al.*, (2023).

A rigor, as práticas da gestão de resíduos sólidos, na grande maioria dos 5.570 municípios do Brasil, ainda não conseguem atender todas as premissas básicas legais estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) artigo 9º da Lei 12.305 de 2010.

A PNRS, tem como uma das suas prioridades básicas, a eliminação dos lixões e dos problemas associados à gestão de RSU, o tratamento seguro para estes resíduos, e a sua disposição final apropriado, contudo o prazo para a extinção dos lixões expirou em 2022, e mais de 50% dos municípios não conseguiram cumprir com a obrigação postas pela PNRS e criar suas próprias políticas locais para o adequado tratamento dos resíduos. Assim, em 2.826 municípios brasileiros são feitos os despejos inadequados dos RSU gerados diariamente, sob a alegação dos altos custos para implementação de aterros sanitários. Os investimentos em projetos de transformação de resíduos em energia para lidar com a responsabilidade de redução das emissões geradas nos aterros no Brasil, pode ser uma alternativa viável, visto que contribui para a erradicação das práticas de despejo de RSU e converge para o respeito ao meio ambiente (Lino et al, 2023).

A questão dos RSU é muito complexa para os gestores e para a população brasileiras, pois as estatísticas anuais publicadas por diversos órgãos responsáveis (SNIS, 2021; ABRELPE, 2020)

relatam aumentos anuais consideráveis dos resíduos e poucos avanços sustentáveis foram feitos após uma década da regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil. Atualmente o país enfrenta vários desafios na destinação dos RSU, o que causa grandes problemas para a qualidade de vida das pessoas e geram sérios danos ao meio ambiente e a saúde pública, principalmente para as classes mais vulneráveis do país.

## **2.1 Os principais fatores de influência para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos em energia para no mercado brasileiro**

Este estudo bibliográfico, obedeceu ao protocolo estrutural da revisão sistemática do método prisma (Moher *et al.*, 2015). Este método de revisão refere-se a uma sistematização dos estudos relevantes que fazem contribuições ao arcabouço de estudos acadêmicos, podendo apoiar as agendas de desenvolvimento de temas específicos (Moher *et al.*, 2006; Mendes da Silva, 2019).

### **3 ETAPAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA NO MÉTODO PRISMA**

As análises das informações realizadas nesta seção da pesquisa, foram divididas em 06 (seis) etapas, que cumprem o método proposto no procedimento para a realização desta revisão literária. Que iniciou com a (a) definição da pergunta guia, que direciona o levantamento, em seguida, (b) a escolha da base de dados para a realização da coleta de dados. Após isso, (c) a seleção dos critérios de busca para a filtragem dos dados; depois (d) a realização da coleta de dados e, conforme os critérios definidos; em seguida, foi feita (e) a análise das informações mais relevantes para atender o primeiro objetivo específico escolhido, e por fim, (f) as interpretações das informações extraídas no levantamento bibliográfico.

Seguindo este roteiro, foi elaborada uma questão que visa atender às demandas deste estudo de RSL. Definiu-se a seguinte pergunta guia: **quais os principais fatores de influência nas práticas de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos no Brasil?**

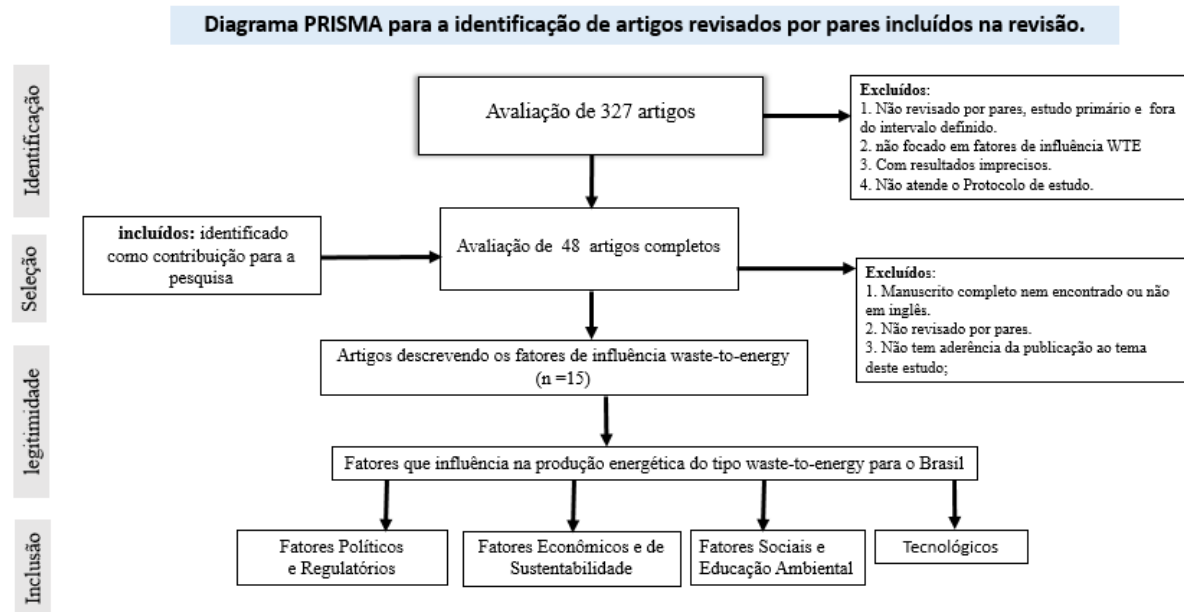
No segundo passo, foi feita a escolha da localização dos dados para a busca das publicações e, dando cumprimento a esta questão, definiu-se como base de dados a plataforma *Scopus®* que levou em consideração o fator de impacto (*h-index* e o *FWCI*) no respaldo científico das publicações e a interação das informações entre ela, assim como a exclusão das publicações redundantes nas fontes.

No terceiro passo, foram definidas as palavras-chaves para as buscas das informações, selecionadas três *strings* na seleção, a saber: “*waste-to-energy*”, “*waste-to-energy in Brazil*” e “*WTE em países em desenvolvimento*”.

Em relação ao período de abrangência do levantamento, foi considerado recorte temporal dos últimos sete anos (de 2017 a 2023) e foram adotados os seguintes critérios para a seleção dos textos: artigos revisados por pares, a data de publicação, o fator de impacto dos periódicos, o idioma inglês, o impacto do periódico que o artigo foi publicado e desconsiderado número de citações.

A coleta de dados foi realizada com a utilização dos filtros definidos e a análise dos resumos, após isso, a realização das leituras e interpretação dos textos completos. Esse processo está representado na ilustração da Figura 1, que esclarece todas as etapas de seleção e inclusão das publicações que compõe esta revisão sistemática (RS).

Figura 1 - Etapas da seleção e inclusão de artigos



Fonte: Adaptado de Moher *et al.* (2015)

Após essa coleta, foram feitas as filtragens estabelecidos como critérios para a inserção da publicação neste estudo, empregou-se para isso o: (i) indicador *Field-Weighted Citation Impact* (FWCI), métrica utilizada para calcular a razão entre as citações do artigo e o número médio de citações recebidas por todos semelhantes em um período de 3 anos, expondo a quantidade de citações do documento, quando comparado a outros (Halevi; Moed; Bar-ilnan, 2016; Khor; Yu, 2016).

Um FWCI maior ou igual a 1, significa que o artigo é mais citado do que o esperado de acordo com a média (Scopus®, 2022); e, (ii) os periódicos que tivessem o h-index maior ou igual a 50.

Com base nessa métrica, foram consideradas as publicações da base de pesquisa da *Scopus®*, por ser considerada uma das bases de grande confiabilidade e relevância mundial para estudos acadêmicos (Grácio; Oliveira, 2012; Guerrero-Bote; Moya-Anegón, 2012). Por fim, foram feitas as leituras das publicações que atenderam a questão central do estudo e o impacto das contribuições selecionada nos critérios deste trabalho.

### 3.2 Resultado da revisão sistemática da literatura

As publicações foram escolhidas conforme os critérios pré-estabelecidos para o filtro das publicações e os resultados obtidos totalizaram 15 artigos por nível de relevância e isso levou a evidência que vários assuntos são abordados nos últimos anos para a temática do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

Conforme a característica multidisciplinar do tema, várias áreas de interesse são inclusas na proposta de produção de energia WTE, iniciando pelas áreas de engenharia ambiental, engenharia elétrica, gestão sustentável dos resíduos, gestão pública municipal, desenvolvimento sustentável, dentre outros.

Os resultados da coleta de dados estão expostos na Tabela 1, que trata dos temas e sua relevância conforme o nome do título da publicação, os autores, o ano, o periódico, o número de citações *Scopus*® e a amostragem dos impactos da publicação por meio do *h-index* e FWCI dos artigos selecionados nesta RS.

Tabela 1 – Artigos selecionados na revisão sistemática e seus potenciais impactos científicos

<i>Nr.</i>	<i>Authors</i>	<i>Document title</i>	<i>Journal</i>	<i>Cit.</i>	<i>FWC</i>	<i>h-index</i>
01	MALINAUSKAITE, J. <i>et al.</i>	Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe.	<b>Energy</b> , v. 141, 2017.	789	17,24	232
02	DALMO, F. C. <i>et al.</i>	<i>Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil</i>	<b>Cleaner Production</b> , v. 212, 2019.	60	2,19	268
03	MALAV, L. C. <i>et al.</i>	A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities.	<b>Cleaner Production</b> , 271 - 23227, 2020.	203	10,16	268
04	KHAN, I.; KABIR, Z.	Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: A multi-criteria analysis for sustainability assessment.	<b>Renewable Energy</b> , v. 150, 2020.	136	4,87	232
05	SIDDIQI, A. <i>et al.</i>	Urban waste to energy recovery assessment simulations for developing countries	<b>World Development</b> , v. 131, 2020.	37	3	206
06	ISTRATE, I. R. <i>et al.</i>	Review of life-cycle environmental consequences of waste-to-energy solutions on the municipal solid waste management system.	<b>Resources Conservation and Recycling</b> , 157, 2020.	126	3,82	170
07	DING, Y. <i>et al.</i>	A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization.	<b>Cleaner Production</b> , 293, 2021.	254	8,58	268
08	DE CAMPOS, V. A. F. <i>et al.</i>	A review of waste management in Brazil and Portugal: Waste-to-energy as pathway for sustainable development.	<b>Renewable Energy</b> , v. 178, p. 802-820, 2021.	29	1,56	232
09	GUTIÉRREZ-GÓMEZ, A.C. <i>et al.</i>	Energy recovery potential from Brazilian municipal solid waste via combustion process based on its thermochemical characterization	<b>Cleaner Production</b> , 293, 126145, 2021.	21	1,81	268
10	KHAN, A. H. <i>et al.</i>	Municipal solid waste generation and the current state of waste-to-energy potential: State of art review.	<b>Energy Conversion and Management</b> , v. 267, p. 115905, 2022.	33	1,63	232
11	KHAN, S. <i>et al.</i>	Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives	<b>Chemosphere</b> , 288, 132403, 2022.	145	23,51	288
12	HOANG, A. T. <i>et al.</i>	Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy	<b>Cleaner Production</b> , 35, 131897, 2022.	85	7,86	268
13	ANDOOZ, A. <i>et al.</i>	A comprehensive review on pyrolysis from the circular economy point of view and its environmental and social effects.	<b>Cleaner Production</b> , 136021, 2023.	08	3.34	268

14	BATISTA, M. <i>et al.</i>	A framework for sustainable and integrated municipal solid waste management: Barriers and critical factors to developing countries	<b>Cleaner Production</b> , 127516, 2021.	55	3,31	268
15	PADILHA, J. L.; MESQUITA, A. L. A.	Waste-to-energy effect in municipal solid waste treatment for small cities in Brazil	<b>Energy Conversion and Management</b> , v. 265, p. 115743, 2022.	12	0,98	232

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A partir dos resultados selecionados na coleta, foi possível inferir que os estudos sobre o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, traz um volume consistente de publicações internacionais, onde as práticas são consolidadas, mas em países em desenvolvimento, como o caso do Brasil, ainda se encontram em fase de crescimento, boa parte, dentro da proposta da economia circular.

Em relação às contribuições dos artigos selecionados, a Tabela 2 apresenta os resultados da análise realizadas nas publicações selecionadas, quanto à proposta apresentada e a aplicações constatadas sobre os principais fatores de influência no aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

Tabela 2 – As principais contribuições das publicações analisadas na Revisão Sistemática

N.	Titulo	Autores	Ano	Proposta	Contribuições
01	<i>Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe.</i>	MALINAUSKAITE, J. <i>et al.</i>	2017	Propõe uma revisão abrangente dos sistemas nacionais de gestão de resíduos municipais e da conversão de resíduos em energia como uma parte importante deles no contexto da economia circular nos países selecionados da Europa.	Evidências de que os fatores políticos e a natureza da governança são determinantes para os resultados efetivos da produção WTE.
02	<i>Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil</i>	DALMO, F.C <i>et al.</i>	2019	Apresentar um levantamento abrangente do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Estado de São Paulo, Brasil.	Uma estimativa do potencial viável de geração de energia elétrica dos RSU, para o estado de São Paulo.
03	<i>A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities.</i>	MALAV, L. C. <i>et al.</i>	2020	Esta revisão visa descrever os desafios da gestão de RSU, explicando as oportunidades e requisitos de recuperação de energia de RSU (Caso da Índia).	Constatações de que as técnicas de gestão de resíduos são econômicas, ecologicamente corretas e socialmente aceitas. Com a grande necessidade de apoio do governo.
04	<i>Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: A multi-criteria analysis for</i>	KHAN, I.; KABIR, Z.	2020	Avaliar a sustentabilidade das tecnologias de geração de WtE e discutir o potencial da tecnologia de geração WtE sustentável em relação ao mundo em desenvolvimento para	Uma estrutura de sustentabilidade tridimensional foi usada para avaliar a sustentabilidade das tecnologias de geração WtE. Foram utilizados um total de

	<i>sustainability assessment.</i>			alcançar o desenvolvimento sustentável usando Bangladesh como exemplo.	34 indicadores; destes, 12 eram econômicos, 13 ambientais e 9 sociais.
05	<i>Urban waste to energy recovery assessment simulations for developing countries</i>	SIDDIQI, A. <i>et al.</i>	2020	Analisar estocasticamente a viabilidade de WtE em regiões urbanas usando tecnologias emergentes.	Apresenta uma estrutura estocástica para conduzir a análise, que é uma abordagem mais adequada em comparação com outros casos em que as estimativas pontuais são feitas com modelos determinísticos. São utilizados parâmetros-chave, como geração de resíduos, custos e eficiências de geração de energia, são modelados como variáveis incertas.
06	<i>Review of life-cycle environmental consequences of waste-to-energy solutions on the municipal solid waste management system.</i>	ISTRATE. <i>et al.</i>	2020	Nesta revisão, nos aprofundamos nos estudos publicados de ACV sobre sistemas de gestão de RSU com o objetivo de identificar soluções WtE e seu impacto no desempenho ambiental do sistema.	Chega-se a um consenso sobre as consequências ambientais favoráveis do desvio de resíduos orgânicos da compostagem à digestão anaeróbica, bem como à implementação de um sistema de recolha de gases de aterro para produção de eletricidade. Há também um consenso de que o desvio de resíduos sólidos urbanos do aterro para incineração reduziria geralmente o impacto do aquecimento global, mas com incerteza na saúde humana.
07	<i>A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization.</i>	DING <i>et al.</i>	2021	Uma revisão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) da China e comparação com regiões internacionais: Gestão e tecnologias em tratamento e utilização de recursos.	Os resíduos sólidos urbanos (RSU) na China (especialmente nas regiões costeiras orientais), Berlim, Tóquio e Singapura são apresentados em termos de informações básicas (ou seja, geração de RSU, população, PIB/GRP), leis (leis, regulamentos, políticas) para Gestão de RSU, características de RSU (composição, separação e coleta), TTRU e tecnologias emergentes na utilização de recursos de RSU.
08	<i>A review of waste management in Brazil and Portugal: Waste-to-energy as pathway for sustainable development</i>	DE CAMPOS, V. A. F. <i>et al.</i>	2021	Uma revisão da gestão de resíduos no Brasil e em Portugal: a transformação de resíduos em energia como caminho para o desenvolvimento sustentável.	Ao comparar Brasil e Portugal, os objetivos divergem quanto à disposição final de resíduos, uma vez que o primeiro país visa a extinção de lixões a céu aberto, enquanto o segundo segue as metas europeias de eliminar a disposição em aterros e potencializar a economia circular, bem como recuperação de energia.



09	<i>Energy recovery potential from Brazilian municipal solid waste via combustion process based on its thermochemical characterization</i>	GUTIÉRREZ-GOMEZ, A.C. <i>et al.</i>	2021	Apresenta a combustão direta com aproveitamento energético como método de tratamento de resíduos úmidos (resíduos misturados e contaminados com frações orgânicas) gerados a partir da coleta seletiva no Brasil.	No Brasil, tecnologias de transformação energética de resíduos, como a incineração, trazem benefícios como a redução do uso de locais inadequados para disposição de resíduos e a exploração de uma fonte de energia que poderia contribuir com mais 3% para a energia elétrica disponível no país.
10	<i>Municipal solid waste generation and the current state of waste-to-energy potential: State of art review.</i>	KHAN, A. H. <i>et al.</i>	2022	Apresenta estudos de caso do Brasil, Índia e Nova Zelândia, onde essas tecnologias foram implementadas com níveis variados de sucesso.	Constatação de que falta uma tecnologia que atenda simultaneamente a múltiplos pontos de vista, como económico, político, jurídico e social, entre outros, devido à grande variabilidade na composição e características dos resíduos, aspectos socioeconómicos e restrições geográficas.
11	<i>Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives</i>	KHAN, S. <i>et al.</i>	2022	Examinar os resíduos sólidos urbanos em oito regiões costeiras orientais da China.	Evidências que a separação sistemática de resíduos ajudaria no desenvolvimento de um sistema integrado de gestão de resíduos bem-sucedido. Simultaneamente, a classificação de lixo deve ser implementada para apoiar a expansão coordenada da classificação de origem e do processamento terminal.
12	<i>Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy</i>	HOANG <i>et al.</i>	2022	A revisão atual analisa e categoriza RSU para tecnologias de energia em abordagens diretas e indiretas sob a perspectiva da Economia Circular.	A análise econômica indicou que a maioria das tecnologias W2E é prejudicada por sua baixa utilização de resíduos e aumento de custos. Os altos custos resultam da triagem de resíduos, equipamentos e transporte. As dimensões políticas, econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas são colocadas como estrutura de influências direta nos modelos de avaliação da recuperação de energia dos resíduos.
13	<i>A comprehensive review on pyrolysis from the circular economy point of view and its environmental and social effects.</i>	ANDOOZ <i>et al.</i>	2023	Uma análise aprofundada da pirólise do ponto de vista da economia circular.	A pirólise é um processo tecnológico promissor que converte resíduos em materiais e energia para reduzir a pressão sobre fontes não renováveis. Os governos devem fornecer políticas racionais para estabelecer fábricas de pirólise em todo o mundo. Os impactos ambientais e sociais são outra questão

					essencial que deve ser considerada antes de aplicar qualquer processo.
14	<i>A framework for sustainable and integrated municipal solid waste management: Barriers and critical factors to developing countries</i>	BATISTA <i>et al.</i>	2021	Uma revisão sistemática da literatura utilizando o diagrama PRISMA com uma análise de conteúdo de 75 artigos, que atenderam aos critérios de elegibilidade.	A identificação de nove barreiras que comprovam deficiências no tratamento de resíduos, também foram identificados 11 fatores críticos de sucesso, e suas respectivas formas de implementação alinhadas aos pilares de Políticas Públicas, Técnicas de descarte, Aspectos legais, PPP e Recuperação energética.
15	<i>Waste-to-energy effect in municipal solid waste treatment for small cities in Brazil</i>	PADILHA; MESQUITA.	2022	Apresentar uma breve revisão da literatura recente sobre tecnologias de Waste-to-Energy, projetos em operação no Brasil e propõe uma abordagem inovadora para analisar a viabilidade financeira da combinação de destinos consolidados para a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (tecnologia rotas), que utilizam resíduos em energia, considerando a complementação de receitas para pequenas cidades.	Apresenta uma análise econômica de seis rotas tecnológicas para destinação de resíduos sólidos por municípios de 30 mil a 250 mil habitantes no Brasil.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os resultados mostram os avanços de modelos teóricos e estudos empíricos consistentes, que auxiliam nas decisões das práticas de aproveitamento energético dos resíduos, bem como, a crescente preocupação acadêmica em contribuir para uma mudança imperativa de comportamento de todos os atores envolvidos no tema waste-to-energy, tanto para uma nova perspectiva das práticas organizacionais inseridas na economia circular como alternativa de solução para a complexa problemática dos resíduos, quanto para fomentar uma consciência sustentável de redução dos impactos no meio ambiente, como a poluição e a preservação da saúde pública.

### 3.3 Os principais fatores de influência nas práticas de produção de energia waste-to-energy no Brasil

Os estudos selecionados mostram evidências relativas a cinco categorias que corroboram significativamente para a definição dos aspectos influenciadores nas práticas de aproveitamento energético dos resíduos. O Quadro 1 ilustra os principais fatores de influência encontrados nesta RS.

Quadro 1 - Os principais fatores de influência para as práticas de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

	<i>Fatores</i>	<i>Finalidade</i>	<i>Autores</i>
a.	Políticos	Trata-se do arcabouço de políticas públicas que promovem um ambiente de incentivos, regulamentações e segura jurídica que tornam viáveis o aproveitamento energético dos RSU.	Malinauskaite <i>et al.</i> (2017); Khan e Kabir (2020); Malav <i>et al.</i> (2020); Batista <i>et al.</i> (2021); Ding <i>et al.</i> (2021); Hoang <i>et al.</i> (2022); Khan <i>et al.</i> (2022).
b.	Econômicos	Estrutura financeira capaz de viabilizar os recursos necessários de custos, receitas e investimentos para o ambiente de mercado, na implementação das plantas WTE.	Malinauskaite <i>et al.</i> (2017); Dalmo <i>et al.</i> (2019); Khan e Kabir (2020); Malav <i>et al.</i> (2020); Siddiqi <i>et al.</i> (2020); Batista <i>et al.</i> (2021); Hoang <i>et al.</i> (2022); Khan <i>et al.</i> (2022); Padilha e Mesquita (2022).
c.	Sociais	Envolvimento e aceitação do público, educação ambiental, coleta seletiva e as precauções de riscos à saúde pública.	Malinauskaite <i>et al.</i> (2017); Khan e Kabir (2020); Malav <i>et al.</i> (2020); Batista <i>et al.</i> (2021); Hoang <i>et al.</i> (2022); Khan, A.H <i>et al.</i> (2022).
d.	Ambientais	Promover a sustentabilidade nas práticas de produção de energia WTE, com os devidos cuidados na implementação das plantas e certificações necessárias para evitar emissões de gases poluentes, bem como, menores impactos ambientais que criam condições locais de desenvolvimento sustentável.	Malinauskaite <i>et al.</i> (2017); Khan e Kabir (2020); Malav <i>et al.</i> (2020); Batista <i>et al.</i> (2021); De Campos <i>et al.</i> (2021); ISTRATE. <i>et al</i> 2020 Hoang <i>et al.</i> (2022); Khan <i>et al.</i> (2022).
e.	Tecnológicos	A escolha da infraestrutura tecnológica mais apropriada, que considera o custo-benefício e a eficiência energética.	Malinauskaite <i>et al.</i> (2017); Khan e Kabir (2020); Malav <i>et al.</i> (2020); Batista <i>et al.</i> (2021); Ding <i>et al.</i> (2021); Hoang <i>et al.</i> (2022); Khan, A.H. <i>et al.</i> (2022); Khan <i>et al.</i> (2022); Padilha e Mesquita (2022); Andooz <i>et al.</i> (2023).

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os principais fatores de influência nas práticas de aproveitamento energético no mercado brasileiro, iniciam com às questões: (a) políticas, que possuem a capacidade de moldar o desenvolvimento dos setores envolvidos com essa produção e estão condicionados às formulações do governo federal e da governança. Em seguida, as questões relativas aos (b) fatores econômicos, que dependem dos custos e investimentos definidos para esta produção e tem a capacidade de viabilizar o desenvolvimento do mercado de forma proativa; também são de relevância as questões voltadas para (c) os fatores sociais, que trata da inclusão da sociedade para uma conduta de cooperativa de corresponsabilidade dos resíduos gerados diariamente, bem

como, na participação efetiva nas questões de desenvolvimento sustentável de colaboração com os descartes residenciais; (d) os fatores ambientais que estão relacionados as melhores formas de ações para o meio ambiente com a redução de impactos ambientais. E, (e) a estrutura tecnológica adequada para o alcance da eficiência energética dentro do melhor custo-benefício para todos os atores envolvidos no fenômeno.

Para Siddiqi *et al.*, (2022) a gestão sustentável e segura dos resíduos é um desafio em países em desenvolvimento, a forma de abordagem envolve múltiplos benefícios nas dimensões econômicas, sociais e ambientais que devem ser avaliadas juntamente com os custos de operacionais de implementação e as questões sociais que precisam subsidiar o planejamento e as políticas públicas.

Em convergência com essa colocação, Hoang *et al.*,(2022), afirma que a aplicação das tecnologias WTE podem ser avaliadas com base no desempenho da sustentabilidade de quatro áreas correlatas, que incluem a tecnologia, a dimensão econômica/financeira, as questões relativas a preservação do meio ambiente e os fatores sociopolíticos, dentro de um planejamento de estratégias apropriadas conforme a realidade local.

A implementação de um sistema WTE requer uma avaliação de multicritérios que auxiliam nas tomadas de decisões organizacionais e visa a otimização das condições de execução de todo sistema, desde a coleta, a transferência e escolhas tecnológicas para gerenciar esses resíduos. Ao mesmo tempo, torna-se fundamental a implementação de programas de sensibilidade e educação da sociedade, para que os geradores de resíduos e a gestão pública municipal, possa contar com suporte governamental e incentivos políticos que permitam o desenvolvimento da produção de energia baseada nos resíduos como insumos (Khan,2022), tendo em consideração que os sistemas de RSU são influenciados por fatores sociais, financeiros, culturais, psicológicos, educacionais e tecnológicos (Batista, 2021).

Assim, a implementação de soluções de conversão de resíduos em energia pode gerar consequências no desempenho ambiental dentro dos sistemas de gestão municipal dos resíduos sólidos urbanos, que dependendo das características específicas do caso, pode trazer consequências ambientais benéficas (Istrate *et al.*, 2020). Mesmo sabendo que os principais desafios para a implementação da produção de energia WTE também estão voltados para aspectos básicos, nas dimensões econômicas, nas questões sustentáveis e aos aspectos sociais locais (Khan e Kabir, 2020; Andoz, 2023).

Para Padilha *et al.*, (2022) é inegável que a conversão de resíduos em energia é um caminho para benefícios sociais, ambientais e econômicos, apesar de ser uma opção cara para o Brasil, a ação cooperativa dos municípios brasileiros, podem gerar caminhos viáveis, como o agrupamento das cidades próximas para a implementação de usinas maiores, que atendam as demandas de diversos municipais. Do ponto de vista econômico e de redução de impactos ambientais, pode ser uma alternativa viável para o mercado brasileiro, pois diminui os custos operacionais e logísticos, ao tempo de reduz o uso de aterros.

A transformação dos resíduos em energia torna-se possível com uma cadeia colaborativa consistente para a coleta, o pré-tratamento e a produção energética, visto que os custos de produção de energia WTE, representam uma parte significativa dos custos totais para a gestão sustentável dos resíduos nos municípios e a organização adequada da coleta de resíduos pode viabilizar a otimização das rotas menos onerosas, que ajudariam na construir cidades mais saudáveis e sustentáveis (De Campos *et al.*, 2021).

## CONCLUSÃO

Esta revisão de literatura teve o objetivo de identificar os principais fatores de influência para as práticas de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. Em resposta a essa questão, foram constatados diversos aspectos de interferência no desenvolvimento de geração de energia que utiliza os resíduos sólidos urbanos, como insumos de produção.

Em primeiro lugar, os aspectos políticos, que criam uma estrutura viável para a produção de energia WTE, pois definem políticas públicas que regulamentam e dão segurança jurídica para o desenvolvimento do setor. Em seguida, os fatores econômicos de custos, receitas e investimentos, que possuem o potencial de dá condições financeiras para as implementações dessas usinas dentro do mercado brasileiro.

E, nesta dinâmica, a corresponsabilidade da sociedade torna-se um fator de influência social relevante, com aceitação de alternativas inovadoras e ações cooperativas que contribuam para educação e consciência ambiental que favoreçam uma mudança cultural em prol do desenvolvimento sustentável. Assim como, os fatores ambientais com suas devidas certificações e os cuidados com o meio ambiente nas implementações destes projetos, para evitar as emissões de poluentes e preservar a saúde pública.

As questões relativas à sustentabilidade, tornou-se um fator de influência em todo sistema de produtivo da sociedade pós-moderna, e também são considerados como influenciadores no processo de implementações de usinas de produção WTE no mercado brasileiro, visto a relevância das demandas de preservação do ar e mudanças climáticas.

A rigor, os fatores políticos, econômicos, sociais e ambientais são relacionados às questões tecnológicas, o que torna essa questão um fator de influência com grande valor para essa produção (WTE), pois a escolha tecnológica deve estar apropriada a uma eficiência energética de produção e um custo-benefício adequado nessas plantas de produção.

As limitações presentes nesta pesquisa estão relacionadas ao número reduzido de palavras-chaves utilizadas e ao tipo de metodologia adotada, que possui uma abrangência teórica do tema. Assim, sugere-se para estudo futuro, pesquisas empíricas que tratam de casos específicos da gestão municipal no Brasil e as contribuições de consórcios públicos/leilões que contribuam para o desenvolvimento da produção de energia WTE no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ALAO, Moshood Akanni; POPOOLA, Olawale Mohammed; AYODELE, Temitope Raphael. Waste-to-energy nexus: An overview of technologies and implementation for sustainable development. **Cleaner Energy Systems**, p. 100034, 2022.

ANDOOZ, A. *et al.* A comprehensive review on pyrolysis from the circular economy point of view and its environmental and social effects. **Journal of Cleaner Production**, p. 136021, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**: 2020. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS - ABREN. **Perspectivas do novo marco do saneamento para a recuperação energético de resíduos**.  
<https://abren.org.br/2021/08/18/perspectivas-do-novo-marco-do-saneamento-para-a-recuperacao-energetica-de-residuos-revista-preven/> acesso em: 02/02/2023.

BATISTA, M. *et al.* A framework for sustainable and integrated municipal solid waste management: Barriers and critical factors to developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127516, 2021.

BEYENE, Hayelom Dargo; WERKNEH, Adhena Ayaliew; AMBAYE, Tekilt Gebregergs. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. **Renewable Energy Focus**, v. 24, p. 1-11, 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR (Brasil). Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021 / Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional**. – Brasília/ DF, 2021.

DALMO, F. C *et al.* Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. **Cleaner Production**, v. 212, 2019.

DE CAMPOS, Victor Arruda Ferraz et al. A review of waste management in Brazil and Portugal: Waste-to-energy as pathway for sustainable development. **Renewable Energy**, v. 178, p. 802-820, 2021.

DING, Y. *et al.* A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization. **Journal of cleaner production**, v. 293, p. 126144, 2021.

FAROOQ, Ahsan et al. A framework for the selection of suitable waste to energy technologies for a sustainable municipal solid waste management system. **Frontiers in Sustainability**, v. 2, p. 27, 2021.

GRÁCIO, M. C. C.; OLIVEIRA, E. F. T. A inserção e o impacto internacional da pesquisa brasileira em “estudos métricos”: uma análise na base Scopus. In: **XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação - XIII ENANCIB 2012**, Fiocruz, 13, 2012.

GUERRERO-BOTE V. P.; MOYA-ANEGÓN, F. A further step forward in measuring journals' scientific prestige: The SJR2 indicator. **Journal of Informetrics**, v. 6, n. 1, p. 674–688, 2012.

GUTIÉRREZ-GOMEZ, A.C. *et al.* Energy recovery potential from Brazilian municipal solid waste via combustion process based on its thermochemical characterization. **Cleaner Production**, v. 293, p. 126145, 2021.

HALEVI, G.; MOED, H. F.; BAR-ILAN, J. Researchers' mobility, productivity and impact: Case of top producing authors in seven disciplines. **Publishing Research Quarterly**, v. 32, n. 1, p. 22-37, 2016.

HOANG, A. T. *et al.* Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 359, p. 131897, 2022.

KHAN, I.; KABIR, Z. Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: A multi-criteria analysis for sustainability assessment. **Renewable Energy**, v.150, 2020.

KAZA, S. *et al.* What a Waste 2.0: **A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 Urban Development Series. International Bank for Reconstruction and Development.** The World Bank. 2018. Disponível em < <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174> >. Acesso em: 27 de abril de 2023.

KHAN, A. H. *et al.* Municipal solid waste generation and the current state of waste-to-energy potential: State of art review. **Energy Conversion and Management**, v. 267, p. 115905, 2022.

KHAN, S. *et al.* Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives. **Chemosphere**, v. 288, p. 132403, 2022.

KHOR, A. K.; YU, L-G. Influence of international co-authorship on the research citation impact of young universities. **Scientometrics**, v. 107, n. 3, p. 1095–1110, 2016.

ISTRATE, I. R. *et al.* Review of life-cycle environmental consequences of waste-to-energy solutions on the municipal solid waste management system. **Resources, conservation and recycling**, v. 157, p. 104778, 2020.

MALAV, L. C. *et al.* A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities. **Cleaner Production**, 271 - 23227, 2020.

MALINAUSKAITE, J. *et al.* Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. **Energy**, v. 141, 2017.

MENDES DA SILVA, W. Contribuições e limitações de revisões narrativas e sistemáticas na área de negócios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 23, n. 2, p. 1-11, 2019.

MOHER, D. *et al.* The PRISMA Group (2015). Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 2, p. 355-342, 2015.

MOHER, D.; TSERTSVADZE, A. Systematic reviews: when is an update an update? **The Lancet**, v. 367, n. 9514, p. 881-882, 2006.

ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. Comissão da ONU lança o Observatório Latino Americano de Energias Renováveis, (2018). Disponível em:

<https://nacoesunidas.org/comissao-da-onu-lanca-observatorio-latino-americano-energias-renovaveis> Acesso em 18/02/2023.

PADILHA, J. L.; MESQUITA, A. L. A. Waste-to-energy effect in municipal solid waste treatment for small cities in Brazil. **Energy Conversion and Management**, v. 265, p. 115743, 2022.

SIDDIQI, A.; HARAGUCHI, M.; NARAYANAMURTI, V. Urban waste to energy recovery assessment simulations for developing countries. **World Development**, v. 131, p. 104949, 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – SNIS. **Painel de Informações sobre o saneamento no Brasil**. 2020. <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos> acesso: 20 dez. 2022.

STAHEL, Walter R. The product life factor. **An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector (Series: 1982 Mitchell Prize Papers)**, NARC, p. 74-96, 1982.

TISI, Yuri Schmitke Almeida Belchior; MATOS, Flavio Arantes; CARNEIRO, Maria Luisa NM. Development of waste-to-energy through integrated sustainable waste management: the case of ABREN WtERT Brazil towards changing status quo in Brazil. **Waste Disposal & Sustainable Energy**, p. 1-14, 2023.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001