

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSOSUCKOW DA
FONSECA**

DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DO CEFET/RJ

ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIEL MONSANTO GOMES

JOÃO GABRIEL DA SILVA MOREIRA

**Valorização Energética de Resíduos Utilizando o Conceito de Eco-
nomia Circular**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2023

**GABRIEL MONSANTO GOMES
JOÃO GABRIEL DA SILVA MOREIRA**

Valorização Energética de Resíduos Utilizando o Conceito de Economia Circular

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharéis em Engenharia Mecânica, do Departamento de Educação Superior, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientador: Ronney Arismel Mancebo Boloy

RIO DE JANEIRO

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

G633 Gomes, Gabriel Monsanto

Valorização energética de resíduos utilizando o conceito de economia circular / Gabriel Monsanto Gomes [e] João Gabriel da Silva Moreira. — 2023.

41f. + anexo : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.

Bibliografia : f. 38-41

Orientador: Ronney Arismel Mancebo Boley

1. Engenharia mecânica. 2. Bibliometria. 3. Economia circular. 4. Energia elétrica - Produção. 5. Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. I. Moreira, João Gabriel da Silva. II. Boley, Ronney Arismel Mancebo (Orient.). III. Título.

CDD 621

AGRADECIMENTOS GABRIEL

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família, meus pais Julio Cesar Moreira Gomes e Maria da Graça Monsanto da Rosa e a minha avó Josefa Monsanto da Rosa, por terem sempre me proporcionado os melhores caminhos e me fornecido as melhores condições para conseguir trilhar um caminho acadêmico completo, desde o ensino médio/técnico até o fim da faculdade. A estrada foi longa, mas geraram frutos, principalmente para reconhecer e recompensar durante todo o tempo investido.

Agradeço aos meus amigos e companheiros de faculdade, que desde o princípio também foram uma família para mim dentro do meio acadêmico. Como nos autodenominamos, somos os “Bests”. Muito obrigado Ariene Fontes, Cibele Sousa, Diogo Nascimento, Eduardo Lanes, Fabrício Domingues, Gabriel Mendes, Gabriel Vieira, Guilherme Freire, Henrique Portes, João Gabriel, Pedro Figueiredo, Philippe Andrés e Rafael Freitas. Juntos superamos dificuldades, criamos momentos de felicidade onde a tristeza estava presente e principalmente, fortalecemos nossos laços num nível além da faculdade, como uma amizade para o resto da vida.

Agradeço ao meu companheiro de TCC e de trabalho, João Gabriel da Silva Moreira, pela paciência, pelos momentos de descontração e pelos ensinamentos não só durante a faculdade, mas também durante o período de trabalho, onde o bom humor e o companheirismo sempre foram presentes.

Agradeço a minha melhor amiga Beatriz Mendes, por ter me dado apoio durante toda minha fase acadêmica. Sem seu suporte, aconselhamentos e ensinamentos, com certeza minha jornada teria sido diferente, sua ajuda com certeza me guiou para um lugar melhor e só tenho a agradecer por ter conseguido chegar aonde cheguei, grande parte foi por conta da sua presença no dia a dia.

Agradeço ao nosso orientador de TCC, Prof. Ronney Arismel Mancebo Boloy, Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq Nível 2, Processo: 306976/2021-8, “Ecoparque Industrial com Sequestro de Carbono funcionando sob o conceito de Biorrefinaria e Economia Circular” com sua experiência e conhecimentos nessa área, esse trabalho pôde alcançar um patamar de excelência e grande aprendizado, sendo até uma possível porta de entrada para novas pesquisas. Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer a minha tutora Daniele Fujimoto, pelos ensinamentos e experiências no mundo corporativo, por me guiar durante essa nova fase da minha vida e proporcionar tantas vivências diferentes dentro do meio profissional.

AGRADECIMENTOS JOÃO

Primeiramente, a Deus, meu criador, e ao seu filho, que me revela toda a luz. Aos meus pais, que atuaram em todas as etapas da minha vida até aqui, às minhas irmãs que tentaram me ensinar química e sempre foram amigas em quem posso contar. À minha Ana, tudo o que eu tenho é seu. Aos meus queridos amigos de faculdade, os "bests", que sempre me acompanharam com risadas e ajuda nas horas mais desafiadoras da faculdade. Ao meu amigo André Gustavo, existem amigos mais chegados que irmãos. Ao meu amigo e companheiro de projeto final, Gabriel Monsanto, que tem o melhor senso de humor que já vi! Ao meu orientador e professor, Prof. Ronney Arismel Mancebo Boloy, Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq Nível 2, Processo: 306976/2021-8, "Ecoparque Industrial com Sequestro de Carbono funcionando sob o conceito de Biorrefinaria e Economia Circular", que com sua experiência, sabedoria e paciência tornou esse projeto possível. À minha querida tutora, Daniele Fujimoto, que é um exemplo de excelência.

Agradeço a todos vocês por fazerem parte da minha vida, por estarem comigo e me ensinarem com seus exemplos. A vida é bela, simples, leve e linda! Eu agradeço a Deus por vocês!

No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade. (EINSTEIN, Albert, 1879 - 1955)

RESUMO

GOMES, Gabriel. MOREIRA, João Gabriel. **Valorização energética de resíduos utilizando conceito de economia circular**. 2023. 43 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2023.

Com o aumento da população mundial, há uma crescente demanda por novas tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos que precisam ser desenvolvidas e aplicadas. Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura associada com análise bibliométrica sobre o panorama mundial da valorização energética de resíduos sólidos sob o conceito da economia circular no cenário global. Ambas as abordagens fornecerão indicadores quantitativos e qualitativos, revelando oportunidades de estudo na literatura e os tópicos mais discutidos atualmente. A revisão sistemática identificou lacunas e tendências relevantes na literatura, enquanto a análise bibliométrica contextualizou a economia circular e a valorização de resíduos em nível mundial, destacando, por meio de palavras-chave, as novas tecnologias e os desafios encontrados em sua implementação. Além disso, alguns estudos ressaltaram a importância do Produto Interno Bruto (PIB) e do contexto socioeconômico na adoção de políticas sustentáveis, demonstrando que países que são exemplos no gerenciamento de resíduos tendem a apresentar melhores condições de vida. No entanto, é importante ressaltar que os custos e o ciclo de vida dos resíduos foram tópicos pouco explorados nos artigos analisados. Além disso, temas como digestão anaeróbica, produção de bioprodutos e bioenergia foram abordados de maneira genérica, sem aprofundamento.

Palavras-chave: Revisão Sistemática. Revisão Bibliométrica. PRISMA. Economia Circular. Valorização Energética.

ABSTRACT

GOMES, Gabriel. MOREIRA, João. **Energy recovery of waste using the circular economy concept**. 2023. 43 pages. Final Paper - Federal Center of Technological Education - Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2023.

With the increase in the world's population, there is a growing demand for new solid waste management technologies to be developed and implemented. This study aims to perform a systematic review of the associated literature with a bibliometric analysis about the state of energy recovery of solid waste with the circular economy concept on a global scale. Both analyses include quantitative and qualitative indicators that demonstrate research opportunities in the literature and identify the most discussed topics. The systematic review revealed gaps and major trends in the literature. The bibliometric analysis provided insights into the global context of the circular economy and waste valorization, highlighting new technologies and the challenges encountered in their application through keyword analysis. Some studies emphasized the relevance of GDP and socioeconomic context in the implementation of sustainable policies, showing that countries that excel in waste management tend to have better living conditions. However, costs and the life cycle were topics rarely mentioned in the articles. Anaerobic digestion, production of bioproducts, and bioenergy were generically addressed subjects.

Keywords: Systematic review. Bibliometric Review. PRISMA. Energy Recovery. Circular Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da seleção dos artigos para a metanálise.....	19
Figura 2 - Relação entre países na publicação de artigos relacionados com o tema.....	23
Figura 3 - Nuvem de palavras com as palavras-chaves dos autores	27
Figura 4 - Conexões entre as palavras-chaves dos autores.....	30
Figura 5 - Relação da quantidade de resíduos ao redor do mundo.....	33
Figura 6 - Árvore de palavras das principais áreas de pesquisa abordadas nos artigos	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de publicações por ano durante o período de 2020-2023	20
Gráfico 2 - Número de produções científicas por país	22
Gráfico 3 - Relação do número de publicações por revistas mais relevantes.....	24
Gráfico 4 - Total de citações por revistas mais relevantes	25
Gráfico 5 - CiteScore por revistas mais relevantes.....	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÃO	13
1.2	OBJETIVO	13
2	MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1	REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	14
2.1.1	Publicações por Ano	14
2.1.2	Publicações por País	15
2.1.3	Parceria entre Países.....	15
2.1.4	Impacto das Revistas.....	15
2.1.5	Cocorrência de Palavras-chave dos Autores	15
2.1.6	Cocorrência de Conexões de Palavras-Chave dos Autores	16
2.1.7	Áreas de Pesquisa	16
2.2	REVISÃO SISTEMÁTICA	17
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
3.1	PUBLICAÇÕES POR ANO.....	20
3.2	PUBLICAÇÕES POR PAÍS	21
3.3	PARCERIA ENTRE PAÍSES	22
3.4	FATOR DE IMPACTO DAS REVISTAS	23
3.5	COCORRÊNCIA DAS PALAVRAS-CHAVES DOS AUTORES	27
3.6	COCORRÊNCIA DAS CONEXÕES ENTRE PALAVRAS-CHAVE DOS AUTORES.....	30
3.7	ÁREAS DE PESQUISA	33
3.8	META-ANÁLISE PRISMA	34
4	CONCLUSÃO	36
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
6	ANEXOS	42

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia sempre foi uma alavanca de transformação para a humanidade. O desenvolvimento de novas técnicas de geração de energia traz marcos na história de prosperidade e crescimento da raça humana. Por meio de tais avanços, outras áreas como a medicina e a engenharia se desenvolveram para trazer novas descobertas que moldaram a sociedade moderna.

A utilização de fontes finitas de energia como principal método de geração de energia, como a queima de combustíveis fósseis ou termoelétricas de carvão, é questionada devido ao alto nível de poluição produzido impactando negativamente o meio ambiente e ao fato de que os recursos são limitados e eventualmente se esgotarão. Com uma demanda mundial crescente de energia, que se dá pelo aumento populacional, evolução da indústria de alimentos, evolução da tecnologia e aumento do consumo e produção, a busca por fontes alternativas de energia, inclusive o hidrogênio de baixo carbono, vem crescendo ano após ano num contexto global e nacional.

O uso de catalizadores derivados do lixo na produção de hidrogênio verde pela eletrólise da água não só promove o desenvolvimento sustentável de energia verde como é uma excelente opção por apresentar um desempenho catalítico notável (CHEN, Z. *et al.*, 2023).

Os resíduos orgânicos do agronegócio são a maior fração do lixo biológico produzido com potencial de ser utilizado como um substrato para a geração de bioenergia (SARAVANAN A. *et al.*, 2023).

O carbono capturado numa usina de energia de gás natural, para a venda em empresas de bebidas carbonatadas, é uma opção rentável e a transformação deste carbono em plástico pode ser uma opção viável para o sequestro e uso de carbono (HOSSEINI, S.M. *et al.*, 2023).

Assim, novas oportunidades para geração de energia limpa e lucrativa são estudadas e a valorização energética é um tema crescente na área de reaproveitamento e uso de resíduos urbanos, sendo um método que através da queima desses resíduos o potencial energético é aproveitado e a energia térmica é transformada em elétrica. Explorar a valorização junto com o conceito de economia circular, onde não há desperdício de materiais pois cada fluxo residual pode ser utilizado para produzir um novo produto, é uma possível alternativa para geração de lucro e diminuição da pegada de carbono e da poluição que pode ser produzida através da má disposição de resíduos.

1.1 MOTIVAÇÃO

Com o crescente aumento da população mundial e áreas urbanas sendo cada vez mais populosas, o aumento e concentração de resíduos se torna um tema ainda mais presente e importante para ser estudado. Segundo o panorama de 2022 da Abrelpe, cerca de 39% (29.7 milhões de toneladas) dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tiveram disposição inadequada no país para lixões e aterros controlados, enquanto 61% dos resíduos tiveram uma disposição adequada. De acordo com uma pesquisa da Confederação Nacional da Indústria, mais de 76% da indústria nacional já têm práticas de economia circular sem ter ao menos ter ouvido falar do tema antes. A empresa Ambipar anunciou um projeto de sequestro de carbono através da economia circular, projeto que visa fortalecer geração genuína de carbono que pode ser vendido posteriormente. Com isso, a utilização da economia circular se mostra como uma ótima forma de se abordar o crescente problema.

Valorização térmica é uma tecnologia utilizada para redução do volume e periculosidade dos resíduos urbanos, muitas vezes utilizada para produção de energia, por exemplo, conversão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos em biogás ou biometano, por meio de um processo de digestão anaeróbica.

Portanto, é importante observar que, embora haja esforços na correta gestão e destinação dos resíduos sólidos urbanos, como maior destinação para aterros sanitários controlados, bem como o desenvolvimento de tecnologias para produção de biogás e geração de energia nos aterros, no Brasil poucos estudos abordam o conceito de economia circular associado com sequestro e uso do carbono para a valorização energética dos resíduos sólidos urbanos.

1.2 OBJETIVO

O projeto tem como objetivo fornecer um panorama mundial sobre a valorização energética de resíduos sólidos urbanos, analisando e compilando informações através de uma revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente uma revisão sistemática da literatura com base no método

prisma será realizada sobre valorização energética de resíduos sólidos urbanos considerando os conceitos de economia circular e sequestro e uso de carbono. A revisão sistemática tem como objetivo fornecer uma análise qualitativa dos assuntos abordados, fornecendo informações confiáveis e de relevância sobre valorização energética e economia circular.

Seguidamente uma revisão bibliométrica sobre o tema, utilizando o software Bibliometrix para analisar quantitativamente os dados, complementando a análise qualitativa desenvolvida através do método Prisma. Por fim, com intuito de conhecer as oportunidades científicas na literatura, uma análise dos resultados e discussão será apresentada

Toda a análise desenvolvida neste Trabalho de Conclusão de Curso, foi baseada em documentos consultados na base de dados Scopus, que escolhida por ser confiável, com estudos de grande referência na academia, principalmente quando o tema é sobre valorização energética de resíduos e economia circular. Para a pesquisa dos artigos foi utilizada a string a seguir: TITLE-ABS-KEY (energy AND recovery AND circular AND economy AND solid AND waste). Identificando 323 artigos, seguidamente, a utilização de filtros foi necessária para encontrar os trabalhos mais relevantes com o tema escolhido. Somente publicações classificadas como artigos, com acesso aberto, publicados entre 2020 e 2023 e escritos em inglês foram selecionados.

2.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Uma revisão bibliométrica tem como objetivo fazer uma análise quantitativa dos estudos em consideração, identificando padrões e tendências que apontam direção e sentido para que novos estudos sejam feitos. Sendo baseado nos seis indicadores mais utilizados em estudos de revisão bibliométrica (SOARES *et. al*, 2023), este trabalho utilizou o software Bibliometrix para avaliar as tendências e promover assistência à trabalhos posteriores sobre o tema estudado.

2.1.1 Publicações por Ano

Um dos parâmetros utilizados como indicador para a revisão bibliométrica foi a quantidade de publicações por ano, como foi utilizado nas referências para a construção dessa revisão (SOARES *et. al*, 2023). Com esse valor, é possível identificar dentro do período estudado (de 2020 a 2023), quais foram os momentos mais

significantes onde houve mais estudos citados publicados com relação ao tema de economia circular.

2.1.2 Publicações por País

O número de publicações por país é importante dentro desse estudo por proporcionar quais regiões demonstram mais interesses nesta área de pesquisa em específico e se os países envolvidos estão realizando esse tipo de estudo como forma de exportar a tecnologia ou aplicar ela em seus arredores (SOARES *et. al*, 2023).

2.1.3 Parceria entre Países

As conexões entre países é um indicador que demonstra a colaboração de cada país nos processos de pesquisa e implementação de tecnologia, como eles se relacionam, realizam as trocas de informações, quais são as possíveis futuras conexões e quais estão em destaque na maior quantidade de conexões (SOARES *et. al*, 2023).

2.1.4 Impacto das Revistas

O fator de impacto de um periódico é um indicador valioso para identificar as revistas mais relevantes no contexto de um tema específico. Essa informação é especialmente útil ao direcionar pesquisas futuras e otimizar o processo de publicação (SOARES *et. al*, 2023). Ao escolher uma revista que esteja alinhada ao escopo do trabalho, é possível evitar atrasos na publicação, uma vez que a submissão de artigos adequados ao periódico escolhido é um dos fatores que podem contribuir para esse atraso. Portanto, conhecer o fator de impacto de uma revista ajuda os pesquisadores a tomar decisões mais informadas e estratégicas em relação à publicação de seus trabalhos.

2.1.5 Cocrorrência de Palavras-chave dos Autores

Ao analisar tendências e lacunas na literatura, é possível utilizar palavras-chave fornecidas pelos autores ou palavras-chave disponíveis na base de dados. Essas últimas são conhecidas como "Palavra-chave Plus" na base de dados Web of Science ou "Index Keyword" na base de dados Scopus. A principal diferença entre elas está na especificidade.

As palavras-chave fornecidas pela base de dados tendem a ser mais

abrangentes, uma vez que podem incluir termos encontrados nas referências citadas, mas que não são mencionados no próprio artigo. Por exemplo, em um estudo, uma referência pode ser utilizada apenas para contextualizar o tópico, mas não abordar diretamente o assunto principal do artigo. Nesse caso, a palavra-chave fornecida pelo banco de dados pode ser recuperada a partir dessa referência, mesmo não sendo totalmente relevante para a busca em questão (SOARES *et. al*, 2023).

Por outro lado, os autores costumam adicionar palavras-chave específicas para descrever o tema de forma mais precisa, o que facilita uma análise mais aprofundada da literatura. Ao utilizar as palavras-chave dos autores, é possível obter uma compreensão mais detalhada e focada do assunto em estudo.

No presente estudo, foram analisadas as palavras-chave fornecidas pelos autores, permitindo uma investigação mais específica e detalhada da literatura relacionada ao tema em questão.

2.1.6 Coocorrência de Conexões de Palavras-Chave dos Autores

Um complemento valioso ao indicador de simultaneidade de palavras-chave reside na análise das conexões estabelecidas entre essas palavras-chave. Essas conexões se tornam um indicador crucial, permitindo observar não apenas as palavras-chave mais proeminentes, mas também as relações que cada uma delas estabelece com outras e o tipo de correlação existente entre elas.

Ao explorar as conexões entre as palavras-chave, podemos obter *insights* valiosos sobre a interligação dos conceitos abordados em um determinado contexto. Essa análise proporciona uma compreensão mais abrangente e aprofundada do tema em estudo, revelando padrões de associação e interdependência entre os termos-chave (WALID *et. al*, 2023).

Ao identificar as conexões entre as palavras-chave, é possível visualizar as relações sinérgicas, as interações complementares ou mesmo as contradições conceituais entre os termos. Essa percepção das correlações existentes enriquece a análise, fornecendo um contexto mais amplo para a compreensão do assunto em questão.

2.1.7 Áreas de Pesquisa

Ao considerar a publicação de um artigo, é importante reconhecer que o este pode estar relacionado a múltiplas áreas de pesquisa, escolhidas de acordo com o objetivo e o escopo do estudo em questão. Nesse contexto, um indicador relevante

tem como objetivo orientar pesquisas futuras, destacando áreas de pesquisa em destaque ou áreas com grande potencial de desenvolvimento (SOARES *et. al*, 2023).

Esse indicador tem o propósito de fornecer uma visão panorâmica das áreas de pesquisa que estão em alta demanda ou que oferecem oportunidades promissoras para investigações adicionais. Dessa forma, os pesquisadores podem direcionar seus estudos para essas áreas específicas, aumentando a relevância e a pertinência de suas contribuições acadêmicas.

Ao explorar as principais áreas identificadas pelo indicador, os pesquisadores têm a chance de se envolver em pesquisas inovadoras e emergentes, acompanhando as tendências atuais e explorando novos caminhos de conhecimento. Isso proporciona uma base sólida para a continuidade e o avanço da pesquisa, abrindo portas para descobertas significativas e progresso científico.

2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA

Com o objetivo de analisar o contexto mundial da economia circular e valorização energética de resíduos sólidos, o método PRISMA foi escolhido por se tratar de uma ferramenta que analisa qualitativamente os artigos, mostra possíveis lacunas na literatura sobre o assunto proporcionando transparência e confiabilidade, pois se trata de um método que pode ser reproduzido para validação dos resultados do estudo (SOARES *et. al*, 2023). O método PRISMA é baseado em quatro etapas como pode ser observado na Fig. 1. Na etapa “Identificação” os resultados da pesquisa feita na base de dados do Scopus são mostrados de acordo com a string utilizada para encontrar artigos sobre valorização energética de resíduos sólidos sob o conceito de economia circular. Para tal tema 323 artigos foram encontrados. Para a fase “Seleção” filtros foram aplicados para que critérios de seleção fossem estabelecidos. Somente documentos classificados como artigos com acesso aberto, escritos em inglês e publicados entre 2020 e 2023 foram escolhidos. Após a aplicação dos filtros, 73 artigos alcançaram o critério de seleção. Para a fase “Elegibilidade” todos os títulos e resumos dos artigos foram lidos, com o intuito de identificar se o tema abordado pelos artigos condizia com o tema do projeto. Observou-se que muitos dos artigos encontrados apenas possuíam as palavras da string em seu resumo, mas não abordavam o tema objetivamente. Após a análise 39 artigos eram elegíveis para a revisão. É importante destacar que o Brasil não teve participação entre os 39 artigos mais relevantes na

literatura sobre o tema e não é comentado em nenhuma das publicações. Para a fase “Inclusão” optou-se por escolher os 10 artigos com o maior número de citações para serem avaliados. Tal escolha tem como objetivo filtrar as publicações mais relevantes dentre os 39 escolhidos na fase “Elegibilidade”. As perguntas a seguir foram desenvolvidas para fazer uma análise qualitativa dos artigos:

- I. Qual biocombustível abordado no artigo?
- II. Qual tipo de bioenergia foi discutida?
- III. Há uma análise do ciclo de vida?
- IV. Há análise do custo de ciclo de vida?

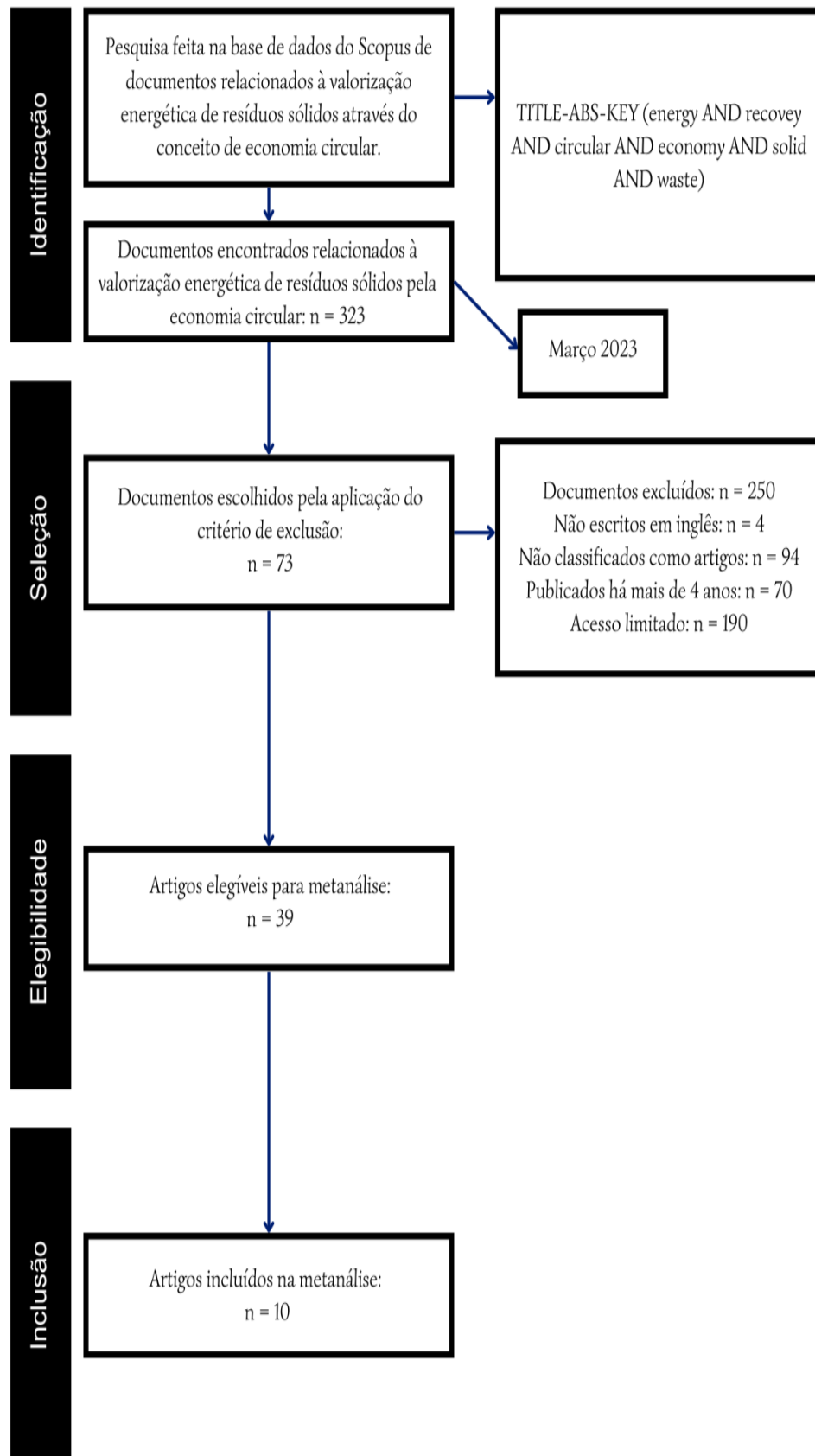


Figura 1 – Fluxograma da seleção dos artigos para a metanálise
Fonte: Os autores (2023)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A discussão dos resultados é centrada na revisão sistemática, explicando o fluxograma utilizado, o motivo das escolhas e o detalhamento dos artigos.

3.1 PUBLICAÇÕES POR ANO

Dentro do período analisado, fica evidente no Gráfico 1, a maior quantidade de publicações concentrada no ano de 2020, seguidos por apenas uma publicação em cada ano consecutivo e por fim, nenhum no ano de 2023 até o presente momento. Uma possível explicação pode ser justificada principalmente por conta da pandemia e dos desafios que a acompanharam. De acordo com a matéria consultada em BBC (British Broadcasting Corporation), com a pandemia, houve o aumento de consumo de plásticos por conta do grande uso de materiais hospitalares descartáveis como máscaras e luvas, além do avanço da utilização de delivery de comida para consumo em segurança em casa. Com esse pico no consumo de resíduos plásticos, surgiu uma oportunidade de crescimento desses estudos relacionados com a gestão e tratamento desses resíduos, esse poderia ser um dos motivos que influenciou diretamente no grande número de publicações nesse ano de 2020.



Gráfico 1 - Número de publicações por ano durante o período de 2020-2023
Fonte: Autores (2023)

3.2 PUBLICAÇÕES POR PAÍS

No Gráfico 2, observa-se a participação de cada país em publicações nos últimos 4 anos. Os dois continentes com diversas publicações na temática são a Europa e a África, continentes vizinhos que possuem abordagens diferentes para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. A Europa foi o continente que mais publicou nos últimos 4 anos, tendo a Alemanha como referência na produção intelectual (12 artigos), seguida da Polônia (9 artigos) e da Bélgica (5 artigos). Os países mais centrais e ao norte na Europa, como a Bélgica e a Alemanha, aplicam políticas drásticas para minimizar o aterramento de resíduos sólidos urbanos não tratados. As estratégias de gerenciamento de resíduos estão fortemente relacionadas com o desenvolvimento econômico de um país; países que possuem um maior PIB (Produto Interno Bruto), como a Alemanha, escolhem estratégias baseadas em reciclagem e valorização energética, enquanto países de menor PIB utilizam o aterramento dos resíduos. A Alemanha, junto com outros países que possuem um PIB maior, alcança uma taxa de 70% de reciclagem; materiais que não são recicláveis são tratados quase que completamente em plantas de valorização energética e apenas cinco países (Alemanha, França, Itália, Holanda e Suécia) possuem três-quartos de toda capacidade de incineração de resíduos na Europa. Em 58 plantas destinadas para valorização energética na Alemanha, 25% de toda massa de resíduo se torna cinzas de fundo, independentemente do tamanho da planta. Essa cinza é utilizada em estradas, construções civis, construção de rodovias, construção de barreiras acústicas, agregados substitutos para produção de concreto, construção de certos elementos de aterramento ou para descarte por aterramento (ABIS *et al.*, 2020).

Os fatos apresentados demonstram como a Europa é referência mundial no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e como a Alemanha é referência na Europa em reciclagem e valorização energética, demonstrando o porquê da disparidade de publicações por país dos dois continentes com mais publicações na temática discutida.

Publicações por país

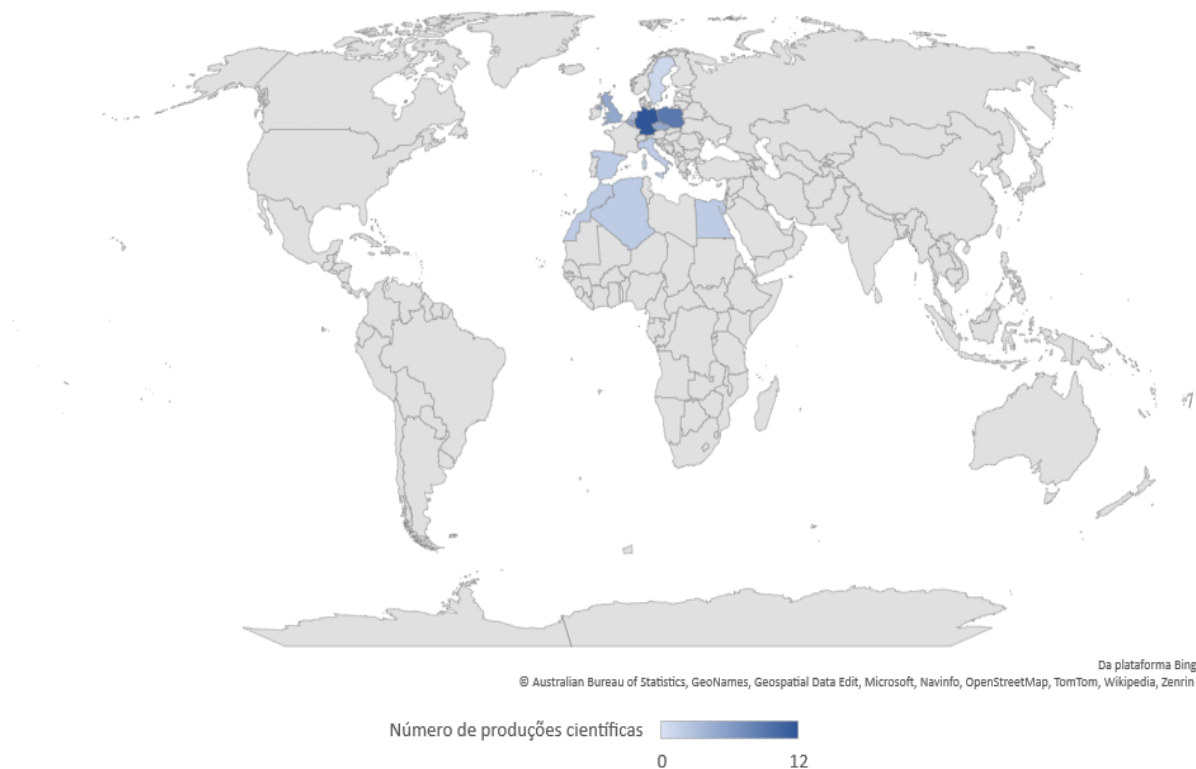


Gráfico 2 - Número de produções científicas por país
Fonte: Autores (2023)

3.3 PARCERIA ENTRE PAÍSES

Na figura 2, ilustra-se a relação que demonstra a parceria entre os países nas publicações de artigos sobre o tema abordado. Nota-se a relação entre países emergentes na região africana com países com maior PIB na região norte e central da Europa, tal como a Suécia que foi relatada como o país que teve o melhor desempenho na combinação da redução da taxa de resíduo gerado, práticas no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e emissões de gases de efeito estufa (ABIS *et al.*, 2020).

Como demonstrado no item 3.2, a Alemanha se destaca como uma referência na Europa em reciclagem e valorização energética. A Alemanha é o país que mais fez parcerias com outros países, inclusive países emergentes da África que não possuem um bom sistema de gerenciamento de resíduos sólidos. A parceria da Alemanha com os países da região africana e com países da Europa.

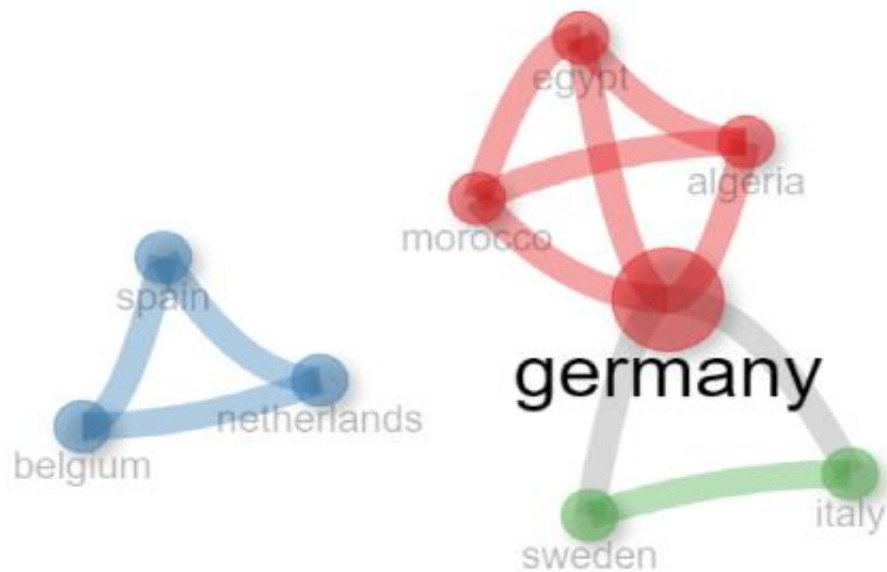


Figura 2 - Relação entre países na publicação de artigos relacionados com o tema
Fonte: Autores (2023)

3.4 FATOR DE IMPACTO DAS REVISTAS

Para a análise do indicador de fator de impacto das revistas, foram levados em consideração o número de publicações, o total de citações e o CiteScore por revistas.

O primeiro indicador para avaliar o impacto das revistas é o número de publicações por revista. No gráfico 3, nota-se que a revista *Energies* teve o maior número de publicação dentre os artigos analisados, com duas publicações entre os dez artigos analisados, representando 20% do número total de publicações. As demais revistas tiveram participação em apenas um artigo, representando 10% cada uma.

Publicações por revistas mais relevantes

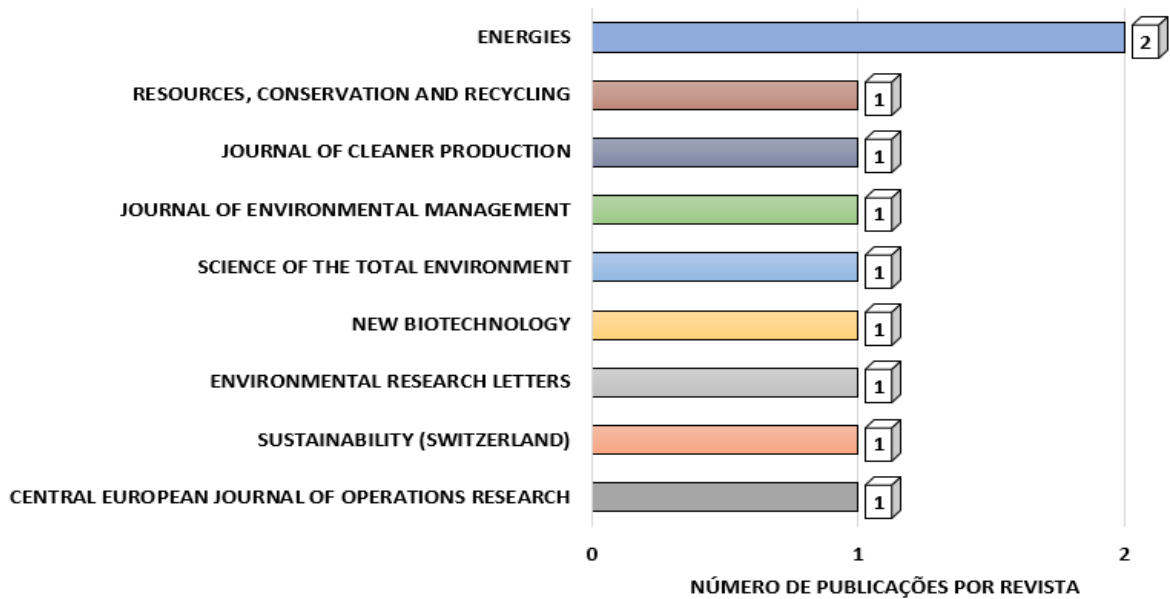


Gráfico 3 - Relação do número de publicações por revistas mais relevantes
Fonte: Autores (2023)

O segundo indicador para análise do fator de impacto é o número total de citações que cada revista recebeu. Como é possível observar no gráfico 4, as revistas Environmental Research Letters, Science of the Total Environment e Journal of Environment Management, tiveram o maior número de citações entre todas as revistas analisadas. Destaca-se, que mesmo com duas publicações da revista Energies, o número total de citações não alcançou metade do valor da revista mais citada que foi a Environmental Research Letters, o que demonstra a importância de mais de um fator de análise para a escolha da melhor revista onde poderá ser encontrado conteúdos mais assertivos a respeito do tema estudado.

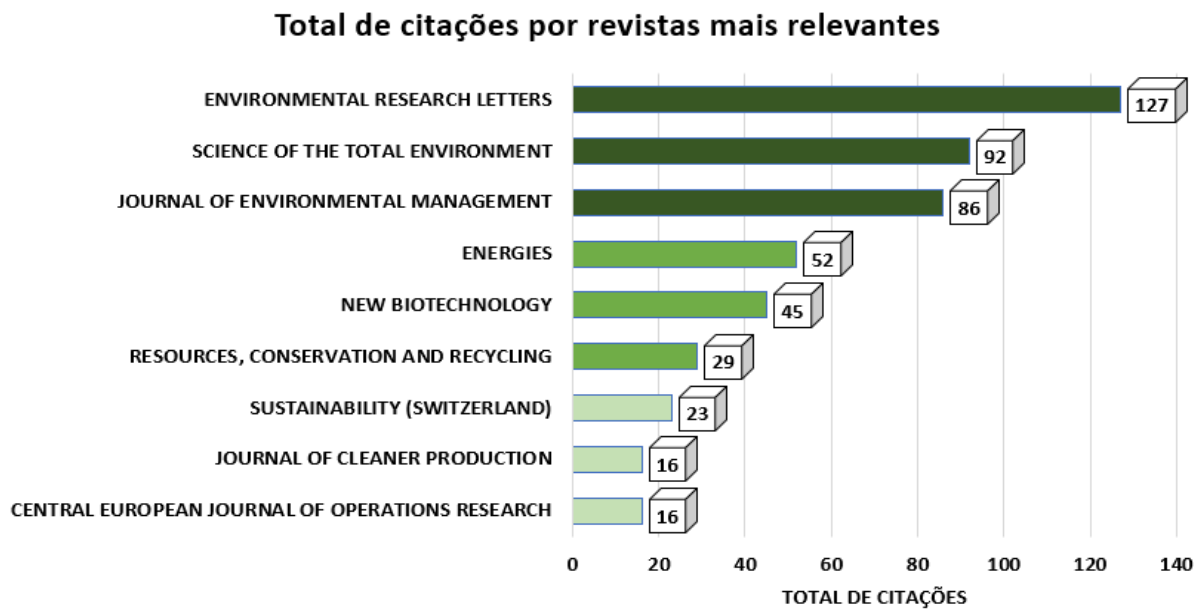


Gráfico 4 - Total de citações por revistas mais relevantes
 Fonte: Autores (2023)

Por fim, o terceiro critério para avaliação do fator de impacto das revistas é o CiteScore, que é uma métrica que afere o impacto de uma revista científica com base nas citações recebidas pelos artigos publicados na revista. É uma métrica calculada anualmente pela Elsevier, tomando como referência a base de dados Scopus.

O CiteScore leva em consideração o número total de citações recebidas por artigos publicados em uma revista em um período de três anos. Ele é calculado dividindo o número total de citações recebidas por artigos publicados nos últimos três anos pelo número total de artigos citáveis publicados nessa mesma revista no mesmo período.

O resultado do cálculo é o CiteScore da revista, que é um valor numérico que representa a média de citações recebidas por artigo. Por exemplo, um CiteScore de 4,5 significa que, em média, cada artigo publicado na revista recebeu 4,5 citações durante o período de avaliação.

No gráfico 5, observa-se que os maiores CiteScores estão concentrados nas revistas Resources, Conservation and Recycling e Journal of Cleaner Production, que trata principalmente de temáticas afins (Energias renováveis, gestão de resíduos e sustentabilidade e o meio-ambiente) ao tema estudado neste Trabalho de Conclusão de Curso. E a revista Science of the Total Environment, que dentro dos principais temas abordados encontram-se: saúde, toxicologia e mutagênese e química ambiental, que não tem uma participação tão direta em relação ao tema do estudo em si como

acontece nas duas revistas com maiores CiteScore, onde a gestão de resíduos e a sustentabilidades estão presentes.

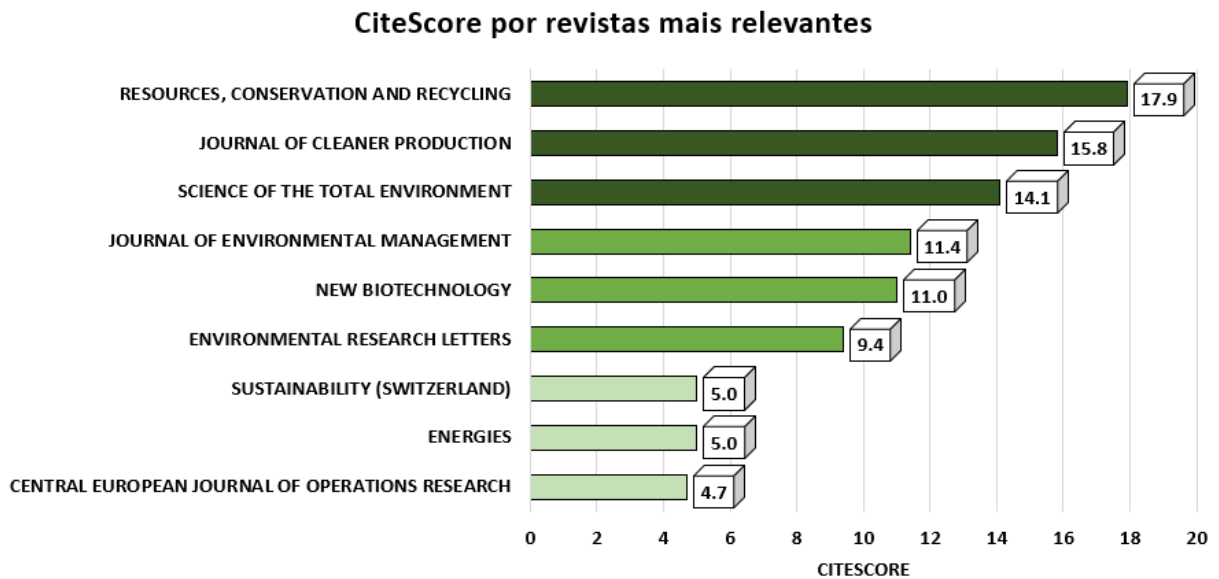


Gráfico 5 - CiteScore por revistas mais relevantes
Fonte: Autores (2023)

Com a análise desses três parâmetros dentro do fator de impacto das revistas, é possível concluir que mesmo com uma maior participação no número de publicações, a revista *Energies* está entre os CiteScore mais baixos de todas as revistas avaliadas e o número de citações somando dois artigos não é tão expressivo quanto esperado, não sendo uma possível escolha para tratar do assunto com relevância, mesmo sendo uma revista que aborda com foco as questões deste estudo.

Uma das revistas mais citadas e com mais alto CiteScore é a *Science of the Total Environment*, mas por não ter como temas em foco a economia circular ou a gestão de resíduos, pode acabar não sendo uma das melhores escolhas para abordar o tema. Por outro lado, as duas outras revistas com mais citações que foram a *Environmental Research Letters* e a *Journal of Environmental Management*, possuem um CiteScore mediano cotejando com as revistas anteriormente citadas e abordam os temas presentes nesse estudo, o que as tornam escolhas interessantes como revistas para publicações. Outra escolha interessante é a *Resources, Conservation and Recycling*, que por mais que tenha um valor inferior de citações em relação as duas opções apresentadas anteriormente, é a que tem o maior CiteScore entre todas e tem como objetivo de estudo temas de gestão de resíduos e energias renováveis.

3.5 COOCORRÊNCIA DAS PALAVRAS-CHAVES DOS AUTORES

Na figura 3, observa-se as palavras com maior e menor número de ocorrências de acordo com seu tamanho, o que mostra tendências e necessidades de pesquisa na literatura para as menores ocorrências das palavras.



Figura 3 - Nuvem de palavras com as palavras-chaves dos autores
Fonte: Autores (2023)

As palavras-chaves que mais ficam em evidência entre os artigos analisados são "economia circular" e "municipal solid waste". A maior parte apresenta alguma conexão com esse tema, evidenciando a interligação entre valorização energética, resíduo sólido urbano e economia circular.

A economia circular entra como um modelo de produção e consumo que envolve compartilhamento, reutilização, reparo e reciclagem de materiais e produtos existentes, gerando uma extensão do seu ciclo de vida. Dentro da gestão de resíduos a tecnologia de conversão de resíduos em energia (Waste-to-energy) é abordada como uma solução para o tratamento de resíduos sólidos municipais (Municipal Solid Waste). A digestão anaeróbica pode ter papel essencial na recuperação de energia, sendo um processo sustentável que pode ser aplicado no tratamento de resíduos sólidos urbanos (SERUGA *et al.*, 2020).

A valorização de resíduos sólidos e a implementação de um gerenciamento seguindo os conceitos de economia circular recentemente tem recebido prioridade em termos de estudo e aplicação na região do Médio Oriente e Norte de África - MENA, seguindo as diretrizes europeias para a implementação. Isso tem levado os países da

região a adotarem abordagens mais inteligentes e sustentáveis na gestão de resíduos. Na maioria dos casos, o "resíduo" é considerado mais um "problema" do que um recurso, e a ausência de legislação e estratégias de longo prazo relacionadas à economia circular na maioria dos países que gera a impossibilidade de se alcançar um alto nível de gestão de resíduos. Os principais desafios encontrados são a centralização do poder, falta de coordenação entre as instituições e ministérios, mecanismos de recuperação de custos são insuficientes, desigualdade no serviço rural e urbano, falta de base de dados confiáveis e de pessoal, falta de legislação e implementação, incapacidade dos sistemas de gerenciamento de resíduo existentes e das administrações municipais de acompanhar a taxa de crescimento constante na produção de resíduos. Tais desafios demonstram que sistemas eficientes de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos precisam de uma boa estrutura socioeconômica para serem implementados (HEMIDAT *et al.*, 2022).

Para se desenvolver uma economia circular, é necessária informação não somente para planejamento e uma gestão eficiente, mas também para criar um cenário ideal de redução, reuso e reciclagem. A rede de suprimentos possui papel essencial e a identificação de parceiros é um recurso adicional da aplicação em rede que promove uma abordagem da economia circular junto da identificação de tipos de lixo, volumes e localizações (PAUL; BUSSEMAKER, 2020).

A existência de dois fatores que podem ter um papel primordial para atingir os objetivos de economia circular na Europa são a necessidade de aumento de cotas de reciclagem para frações específicas de resíduos sólidos pela coleta segregada, aperfeiçoando tratamentos definitivos das cadeias do processo e o reaproveitamento de matérias-primas secundárias provindas de cinzas de incineração, envolvendo a reciclagem de materiais ferrosos, não ferros e a fração mineral (ABIS *et al.*, 2020).

A localização de instalações de tratamento de resíduos, incluindo aterros sanitários é feita por modelos matemáticos considerando fatores como transporte, capacidade das instalações e incerteza na produção futura de resíduos. Os resultados dos modelos podem ser úteis para apoiar a tomada de decisão na área de planejamento de infraestrutura de tratamento de resíduos (HRABEC *et al.*, 2020).

A economia circular na gestão de resíduos utilizando recuperação de materiais e energia de aterros sanitários é vista como uma das principais estratégias para alcançar as grandes metas ambiciosas da União Europeia em relação a reciclagem e reutilização de resíduos. O plástico é um dos principais resíduos em aterros sanitários

e pode ser recuperado através de processos de reciclagem, mas a contaminação e as mudanças estruturais causadas pelo aterramento podem dificultar a reciclagem convencional (CANOPOLI *et al.*, 2020).

Dentro das estratégias de economia circular e gestão de resíduos existem cinco possíveis opções de gestão de curto prazo. Dentre as opções abordadas, quatro envolvem a coleta separada dos resíduos alimentares seguido de tratamento biológico, como compostagem doméstica e digestão anaeróbica, enquanto uma envolve uma mistura das coletas separadas e tratamento mecânico-biológico centralizado seguido pela digestão anaeróbica. O modelo de coleta separada seguida de digestão anaeróbica com recuperação efetiva de nutrientes e energia é o mais adequado em todas as dimensões consideradas em termos de melhoria de sustentabilidade, exceto pela questão econômica, onde acaba sendo um modelo mais caro para ser abordado (TONINI *et al.*, 2020).

Recentemente, foi conduzida uma discussão sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos na Europa e como a economia circular pode ser aplicada para promover redução dos impactos ambientais. A avaliação do ciclo de vida é utilizada para fazer uma análise de impactos ambientais da disposição de resíduos em aterros sanitários. A composição dos resíduos e a gestão do aterro tem impacto significativo na produção de gases de aterro e na qualidade do lixiviado, então a implementação de políticas de economia circular ajudariam a reduzir esses impactos e promover a sustentabilidade nessa gestão de resíduos (SUAVE; ACKER, 2020).

A meta da União Europeia de reciclar pelo menos 65% desses resíduos e limitar o aterramento a 10% até 2030 pode correr o risco de não ser alcançada sem políticas sustentáveis mais direcionadas. Além disso, estimativas de emissões de gases de efeito estufa, entrada de plástico nos oceanos e estoque de fluxos de nitrogênio associados aos resíduos sólidos urbanos também são tópicos em evidência (CHEN, D *et al.*, 2020).

Em relação ao tratamento de águas residuais na Polônia, a bioeconomia é de extrema importância na implementação da economia circular. Outro fator relevante está associado com o gerenciamento adequado de efluentes e com uma boa gestão de resíduos orgânicos e tratamento desses efluentes por meio de processos biológicos, por exemplo, digestão anaeróbica com intuito de trazer grandes benefícios econômicos e ambientais (KASZYCKI *et al.*, 2021).

3.6 COCORRÊNCIA DAS CONEXÕES ENTRE PALAVRAS-CHAVE DOS AUTORES

A coocorrência das conexões entre palavras-chave dos autores foi realizada com suporte do software VosViewer. Na figura 4 os círculos com maior diâmetro são de palavras-chave que possuem maior número de aparições, as cores representam a ligação entre elas e a distância mostra o nível de correlação entre duas diferentes, onde quanto mais distante uma palavra-chave é de outra menos elas aparecem juntas.

Observa-se como a análise do ciclo de vida é um tema pouco estudado nos 10 artigos escolhidos para a análise. Nota-se que sua relação com artigos que tratam sobre economia circular e resíduo sólido municipal é escassa e de acordo com o que se vê na tabela em anexo da meta análise poucos artigos realizaram uma análise do ciclo de vida. De forma análoga a digestão anaeróbica, descarte de resíduo, aterramento, incineração e economia foram temas que poucos citados nos artigos. Dessa maneira, identificam-se oportunidades de estudo na literatura, reconhecendo a importância e a relevância da pesquisa de tais temas.

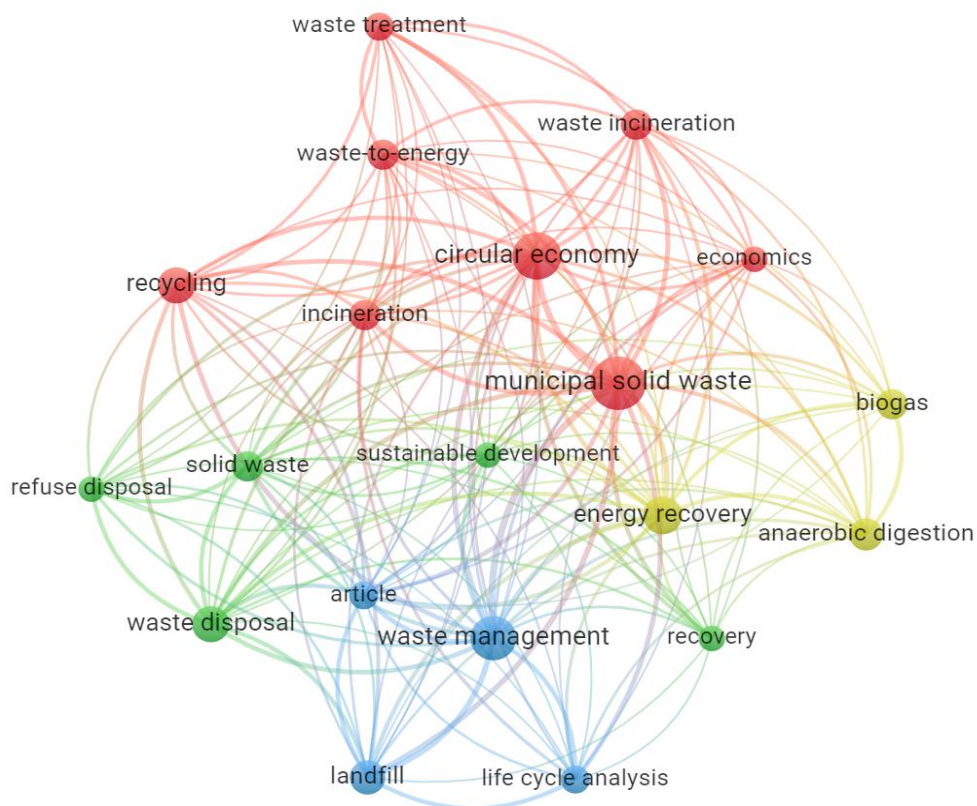


Figura 4 - Conexões entre as palavras-chaves dos autores
Fonte: Autores (2023)

Dentre as possíveis rotas de valorização energética dos resíduos sólidos

urbanos tem-se: a digestão anaeróbica de resíduo orgânico, incineração, papéis mistos para pasta celulósica. A partir da identificação de grandes quantidades de resíduos são enviadas para o aterramento ou para a incineração, pode-se vislumbrar oportunidades no mercado de resíduos. Resíduo que é incinerado sem valorização energética demonstra uma oportunidade para a valorização energética e, de forma similar, grandes quantidades de resíduo orgânico aterrado podem prover matérias-primas para tecnologias de biorrefinarias (Ecoparques Industriais). Investidores estão profundamente interessados em locais ideais para biorrefinarias ou para instalações de conversão de resíduos (PAUL; BUSSEMAKER, 2020).

Atualmente cerca de 70% do resíduo produzido anualmente é destinado a lixões e aterros (CHEN *et al.*, 2020). Este fato demonstra a relevância do tema, pois grande parte desse resíduo resulta em poluição ao meio ambiente por meio de emissões de gases estufa e chorume. É estimado que a geração anual de resíduo sólido urbano será de 3.4 bilhões de toneladas até 2050 e o aterro continua sendo o método predominante de descarte. Em países com alta renda, a reciclagem, incineração e formas avançadas de descarte são práticas aplicadas, enquanto em países de baixa renda, a aplicação de métodos de gerenciamento mais avançados se mostra como um desafio devido ao seu custo de aplicação e organização necessária (HEMIDAT *et al.*, 2022).

Na maioria dos países emergentes o resíduo sólido urbano é composto, em sua maior parte, de resíduo orgânico (HEMIDAT *et al.*, 2022). No mundo 46% do resíduo sólido urbano é composto de material orgânico, o que demonstra o potencial de geração de energia ou bioenergia. A segregação do resíduo orgânico do não-orgânico, mostra-se como um dos principais desafios para a implementação de uma economia circular. A segregação do resíduo na fonte (coleta) é vista como uma das soluções para o gerenciamento de resíduo que não irá para aterros. Quando o resíduo que é segregado direto na fonte é processado, através da digestão anaeróbica, biogás e materiais valiosos na forma de fertilizantes (que podem ser usados em plantações) podem ser recuperados (SERUGA *et al.*, 2020).

A digestão anaeróbica é um tratamento adequado para os dois tipos de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos. Os dois tipos são: fração orgânica separada na fonte e fração orgânica classificada mecanicamente. A digestão anaeróbica da fração orgânica separada na fonte traz mais benefícios se comparada com a classificada mecanicamente. A separada na fonte apresenta mais benefícios como: maior

rendimento de biogás e potencial de geração de eletricidade, melhores custos de pré-tratamento e aparentam ter mais possibilidades de reciclagem. O digerido e os efluentes da fração separada na fonte podem possuir aplicações na agricultura, enquanto a fração separada mecanicamente pode gerar a mesma quantidade de lixo, sem ter aplicações diretas (SERUGA *et al.*, 2020).

Em 2050 (vide Figura 5) a produção mundial de resíduo orgânico decaíra para 39.8%, relativo à produção de todos os tipos de resíduo. Esse fato pode ser explicado pela saturação de resíduo orgânico em face do consumo de comida. O resíduo orgânico lixo é o resíduo mais importante para ser valorizado no futuro e que aterros continuarão como o tipo de tratamento mais importante enquanto a utilização de lixões deve diminuir (CHEN *et al.*, 2020).

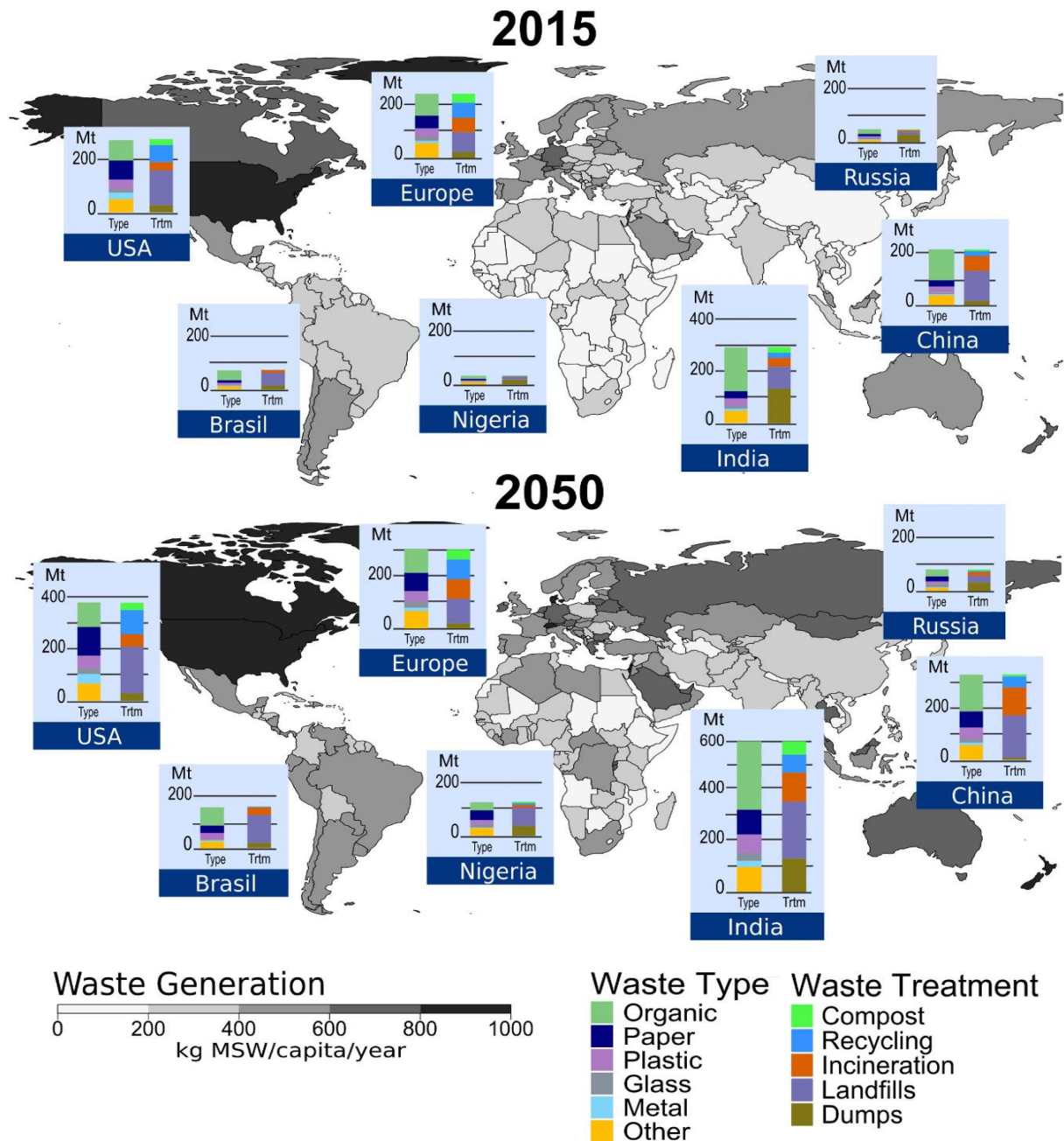


Figura 5 - Relação da quantidade de resíduos ao redor do mundo
Fonte: (CHEN *et al.*, 2020)

3.7 ÁREAS DE PESQUISA

Na figura 6, nota-se as áreas de pesquisa mais relevantes dentro dos artigos analisados no contexto de valorização energética de resíduos sólidos. Além do resíduo sólido urbano que é o tipo de resíduo mais estudado, resulta evidente que a gestão dos resíduos é um tema que está diretamente ligado com a implementação da economia circular como principal estratégia para uma gestão mais assertiva desses resíduos. Outros fatores importantes estão relacionados a digestão anaeróbica, sendo

uma das estratégias mais utilizadas para o tratamento desses resíduos, bem como há uma atenção ao local onde os resíduos são destinados, neste caso os aterros sanitários. Por fim, também é possível identificar temas extremamente relevantes: análise do ciclo de vida, reciclagem, impacto ambiental, mudança climática, aspecto econômico.

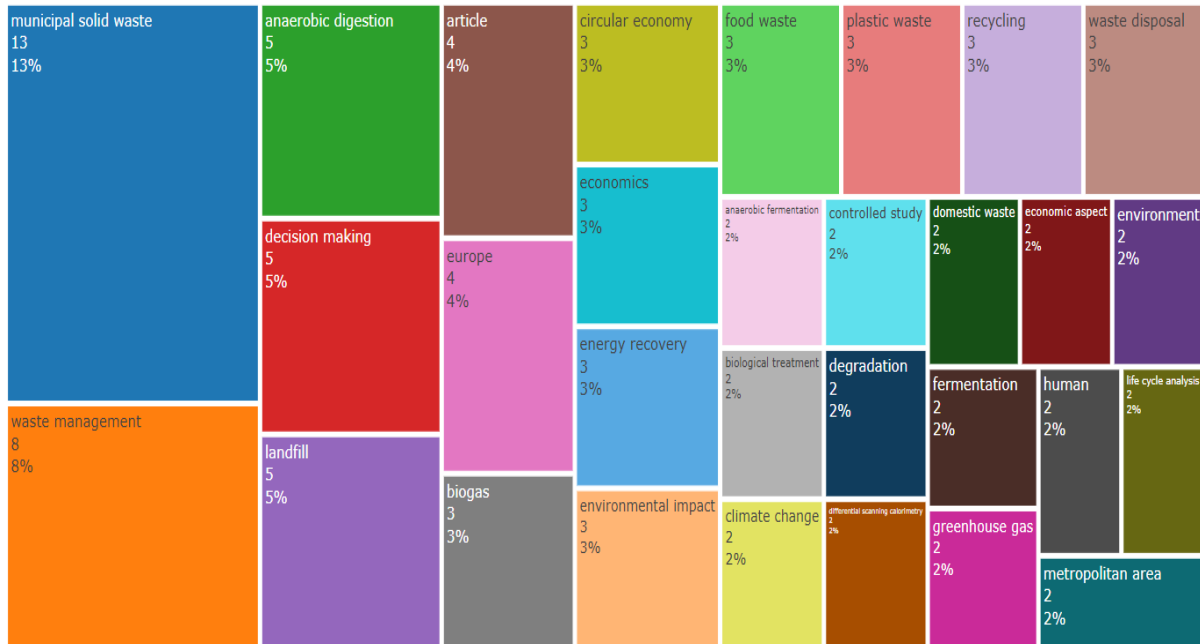


Figura 6 - Árvore de palavras das principais áreas de pesquisa abordadas nos artigos
Fonte: Autores (2023)

3.8 META-ANÁLISE PRISMA

Para a realização da meta-análise PRISMA foram escolhidos os 10 artigos com mais citações, conforme pode ser observado na Tabela 1 do Anexo I. As perguntas realizadas são:

I. Qual biocombustível estudado no artigo? A maioria dos artigos não estudou especificamente um tipo de biocombustível produzido, mas sim uma diversidade, tal como o biogás, biometano, biodiesel, etanol. Metade dos artigos não estudou a produção de biocombustíveis, o que mostra uma oportunidade científica na literatura, quando se trata sobre a geração de capital provinda da valorização energética de resíduos sólidos. A falta de planejamento e de mecanismos de recuperação de custo são desafios que impossibilitam a formação de um sistema eficiente de gestão resíduo (HEMIDAT *et al.*, 2022).

II. Qual tipo de bioenergia gerada? A bioenergia foi um assunto estudado em 6 dos 10 artigos revisados, com a energia térmica aparecendo na maioria deles seguido pela

energia elétrica. A geração de bioenergia através da valorização energética é um tema indispensável no gerenciamento de resíduos sólidos e terá grande importância no futuro, onde políticas que visam aumentar a taxa de reciclagem nos países são aplicadas e muitos resíduos que não podem ser reciclados podem ser valorizados energeticamente e ter os subprodutos obtidos através dos processos sendo utilizados e comercializados como no caso da utilização de cinzas de fundo para construção civil.

III. Houve aplicação de análise do ciclo de vida? A análise do ciclo de vida é um dos temas mais relevantes para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Acompanhar a vida e a possibilidade de reciclagem e valorização energética é uma prática comum em países que são referência no gerenciamento de resíduos. Foi observada uma disparidade entre os artigos que aplicaram análise do ciclo de vida, evidenciando uma oportunidade científica na literatura sobre o tema, apenas 3 dos 10 artigos com mais citações realizaram essa análise,

IV. Há análise de custos? Sendo o tema com maior disparidade nas respostas das perguntas feitas na meta-análise, o custo se mostra como um dos principais desafios na valorização energética de resíduos de forma sustentável e eficaz, principalmente para países de baixa e média renda que possuem histórico de má gestão (HEMIDAT *et al.*, 2022). A análise bibliométrica demonstra que a palavra “custo” não aparece na nuvem de palavras, o que era esperado devido ao fato de que apenas dois dos artigos analisados discutem diretamente e proporcionam uma análise mais detalhada sobre os custos envolvidos na gestão de resíduo sólido municipal, demonstrando que os custos foram raramente trazidos à tona e analisados nos artigos selecionados e que esse é um tema que futuros trabalhos podem desenvolver.

4 CONCLUSÃO

Resumindo, na Europa, existe um notável crescimento no desenvolvimento de tecnologias que promovem eficiência energética e redução de custos na valorização energética de resíduos. No entanto, as diferenças socioeconômicas entre os países desempenham um papel crucial na adoção dessas tecnologias mais avançadas, representando um dos principais desafios para o progresso nesse campo. É necessário realizar análises mais detalhadas sobre custo e ciclo de vida para demonstrar o potencial de investimento em novas tecnologias para a valorização energética de resíduos.

A produção de resíduo mundial tende a aumentar, mas a taxa em que aumenta tende a diminuir, porém quanto mais atraso para gerenciar o resíduo de forma sustentável, maior será o desafio de implementar novas políticas no futuro. É possível observar que a maioria dos países emergentes não utiliza formas avançadas de gerenciamento de resíduos, com o aterramento e a utilização de lixões como os dois principais meios de descarte e que a maior parte dos seus resíduos produzidos são orgânicos, fato que demonstra o grande potencial na valorização energética de resíduos nesses países.

A pandemia teve um impacto significativo no aumento do consumo de resíduos plásticos, enfatizando a importância crescente das pesquisas sobre a gestão desses resíduos. A economia circular e a gestão de resíduos sólidos têm sido temas de destaque, exigindo maior atenção e urgência em relação a esses estudos.

Quanto à escolha das principais revistas para publicação, é necessário considerar vários fatores de impacto, indo além do simples número de publicações por revista e citescopes mais alto. Os principais aspectos a serem levados em conta com certeza são uma combinação de todos os critérios avaliados, o que proporciona uma análise mais abrangente e confiável.

Na área da pesquisa, predominam estudos sobre gestão e tratamento de resíduos sólidos urbanos, evidenciando a importância dessa área promissora de estudo em todo o mundo.

As oportunidades científicas identificadas irão auxiliar na valorização energética dos resíduos sólidos urbanos sob o conceito de economia circular para contribuir com a mitigação das emissões de gás carbônico na matriz energética global, principalmente em países poucos desenvolvidos.

Futuros trabalhos devem ser direcionados para uma melhor compreensão

sobre valorização energética de resíduos sólidos sob o conceito de economia circular, desenvolvendo novos métodos, novas tecnologias, propondo novas políticas públicas. Neste trabalho de conclusão de curso, preliminarmente foram apontadas as oportunidades científicas a serem exploradas para uma maior valorização energética dos resíduos sólidos sob o conceito de economia circular. Finalmente, deseja-se aplicar análise de ciclo de vida e os custos de ciclo de vida (financeiro, ambiental e social) na valorização energética de resíduos sólidos urbanos em um aterro sanitário, promovendo sua transformação em um Ecoparque Industrial.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIS, M., et al. Assessment of the Synergy between Recycling and Thermal Treatments in Municipal Solid Waste Management in Europe. **Energies**, v. 13, n. 23, p. 6412, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6412>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BAUMGART, B. **Estudo do Estado-da-Arte da Utilização de Algas e Microalgas para Geração de Energia Biofotovoltaica**. Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/378/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 9 jan. 2023.

CARRANÇA, T. Consumo de plásticos explode na pandemia e Brasil recicla menos de 2% do material. **BBC News Brasil**, São Paulo, 30 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-55131470>>. Acesso em: 22 mai. 2023.

CHEN, Z., et al. Waste-Derived Catalysts for Water Electrolysis: Circular Economy-Driven Sustainable Green Hydrogen Energy. **Nano-Micro Lett.**, v. 15, n. 4, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40820-022-00974-7>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

ECONOMIA CIRCULAR. **Portal da Indústria**, [s.d]. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-sustentavel/temas-de-atuacao/economia-circular/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ECONOMIA CIRCULAR: Entenda o que é e como funciona. **Habitability**, 2022. Disponível em: <<https://habitability.com.br/economia-circular-entenda-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ENERGIES. **MDPI**, 1996-2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/journal/energies>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

ENVIRONMENTAL Research Letters. **IOPscience**, 2023. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/journal/1748-9326>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

FONSECA, J. **Valorização Energética de Resíduos para uma Economia Circular: O Estado da Arte em Portugal**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2020. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/16920/1/DM_JoseFonseca_2020_MEESE.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2022.

HEMIDAT, S., et al. Solid Waste Management in the Context of a Circular Economy in the MENA Region. **Sustainability**, v. 14, p. 480, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/1/480>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

HRABEC, D., et al. Circular Economy Implementation in Waste Management Network Design Problem: A Case Study. **Central European Journal of Operations Research**, v. 28, p. 1441–1458, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10100-019-00626-z>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

INSIGHTS Resources Conservation and Recycling. **ScienceDirect**, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/resources-conservation-and-recycling/about/insights>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

INSIGHTS Journal of Cleaner Production. **ScienceDirect**, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production/about/insights>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

INSIGHTS Science of the Total Environment. **ScienceDirect**, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/science-of-the-total-environment/about/insights>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

INSIGHTS New Biotechnology. **ScienceDirect**, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/new-biotechnology/about/insights>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

INSIGHTS Journal of Environment Management. **ScienceDirect**, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-environmental-management/about/insights>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

JORDÃO, A. **Tecnologia e Meio Ambiente: A Valorização Energética de Resíduos Sólidos no Brasil**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119486/jordao_aa_tcc_arafcl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 dez. 2022.

KASZYCKI, P., et al. Towards a Bio-based Circular Economy in Organic Waste Management and Wastewater Treatment – The Polish Perspective. **New Biotechnology**, v. 61, p. 80-89, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678420301941>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

PAUL, M., BUSSEMAKER, M. A Web-Based Decision Support Tool for Waste Management: A Case Study of Municipal Solid Waste in England. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, 121461, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620315080?via%3Dihub>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ROSSI, C. **Potencial de Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos na Região da AMESC**. Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/159353/TCE_Catherine_da_Rosa_Rossi.pdf?s>. Acesso em: 18 dez. 2022.

ROSA, N. Citescore: Entenda como essa métrica revolucionou a avaliação de impacto científico. **Mettzer**, 10 abr. 2023. Disponível em: <<https://blog.mettzer.com/citescore/>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SANTOS, D. Valorização energética de resíduos sólidos urbanos: materiais para caldeiras de centrais de incineração. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 25, p. 98–120, Lisboa, 2013. Disponível em: <<https://www.elsevier.es/en-revista-ciencia-tecnologia-dos-materiais-226-pdf-S087083121400007X>>. Acesso em: 5 dez. 2022.

SARAVANAN, A., et al. A review on regeneration of biowaste into bio-products and bioenergy: Life cycle assessment and circular economy. **Fuel**, v. 338, 15 April 2023. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122040455>>.

Acesso em: 17 jan. 2023.

SERUGA, P., et al. Anaerobic Digestion Performance: Separate Collected vs. Mechanical Segregated Organic Fractions of Municipal Solid Waste as Feedstock. **Energies**, v. 13, n. 15, p. 3768, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/15/3768?type=check_update&version=1>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SOARES, L. O., et al. Electric Vehicle Supply Chain Management: A Bibliometric and Systematic Review. **Energies**, v. 16, p. 1563, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/1563>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

SUAVE, G., ACKER, K. The environmental impacts of municipal solid waste landfills in Europe: A life cycle assessment of proper reference cases to support decision making. **Journal of Environmental Management**, v. 261, 110216, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720301511>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SUSTAINABILITY. **MDPI**, 1996-2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

TONINI, D., et al. Quantitative sustainability assessment of household food waste management in the Amsterdam Metropolitan Area. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, 104854, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920301749>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS. **Siaram**, [s.d]. Disponível em: <http://siaram.azores.gov.pt/residuos/Central-de-Valorizacao-Energetica/_texto.html>. Acesso em: 9 jan. 2023.

WALID NABGAN, M. I., et al. Bibliometric analysis and an overview of the application of the non-precious materials for pyrolysis reaction of plastic waste. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, Issue 6, p. 104717, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187853522300179X>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

6 ANEXOS

Na página a seguir, segue o anexo da tabela utilizada para a meta-análise PRISMA.

Tabela 1. Meta-análise PRISMA dos artigos selecionados sobre valorização energética de resíduos sólidos urbanos utilizando o conceito de economia circular

Título [Referência]	Palavras-chave	(I) Qual biocombustível abordado no artigo?	(II) Qual tipo de bioenergia foi discutida?	(III) Há uma análise do ciclo de vida?	(IV) Há análise de custos?
The world's growing municipal solid waste: trends and impacts	Municipal solid waste, Environmental impacts of waste, Compositional data, Global future projections, Circular economy	Não especificado	Energia térmica	Não	Não
Degradation of excavated polyethylene and polypropylene waste from landfill	Enhanced landfill mining, Plastic recovery, Excavated plastic, Plastic degradation	Não especificado	Não especificado	Não	Não
The environmental impacts of municipal solid waste landfills in Europe: A life cycle assessment of proper reference cases to support decision making	Landfill, Municipal solid waste, Life cycle assessment, Waste composition, Leachate, Landfill gas	Biometano, biodiesel, etanol	Energia elétrica, energia térmica	Sim	Não
Towards a bio-based circular economy in organic waste management and wastewater treatment – The Polish perspective	Bioeconomy in Poland, Biogas plants, Biomethanation, Digestate, Sewage sludge, Fertilizer	Biogás	Energia térmica	Não	Não
Anaerobic Digestion Performance: Separate Collected vs. Mechanical Segregated Organic Fractions of Municipal Solid Waste as Feedstock	Energy recovery, Biogas, Organic waste, Food waste, Green waste, Process control	Biogás, biometano	Energia elétrica, energia térmica	Não	Não
Quantitative sustainability assessment of household food waste management in the Amsterdam Metropolitan Area	Stakeholder, Waste collection, LCA, Local impacts, Multi-criteria decision analysis, Circular Economy	Não especificado	Não especificado	Sim	Sim
Solid Waste Management in the Context of a Circular Economy in the MENA Region	Solid waste management (SWM), Legal framework, Financial framework, Treatment technologies and disposal, MENA region	Biogás, biometano	Não especificado	Não	Não
Assessment of the Synergy between Recycling and Thermal Treatments in Municipal Solid Waste Management in Europe	Circular economy, Incineration, Municipal solid waste, Recycling, Thermal treatment, Waste-to-energy	Não especificado	Energia térmica	Sim	Não
Circular economy implementation in waste management network design problem: a case study	Circular economy, Robust optimization, Facility location, Waste treatment, Decision-dependent production, Network design	Não especificado	Não especificado	Não	Não
A web-based geographic interface system to support decision making for municipal solid waste management in England	Municipal solid waste (MSW), Waste management, Web-GIS, Decision support tool, Circular economy	Biogás	Energia elétrica	Não	Não