



ASPECTOS BIBLIOMÉTRICOS DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS SOBRE ECONOMIA CIRCULAR E ATERRO SANITÁRIO

Nájila Sena da Silva¹
Edson Eyji Sano²
Joselisa Maria Chaves³
Rejane Ennes Cicerelli⁴

RESUMO

Objetivo: Este artigo apresenta como objetivo identificar as tendências de publicações científicas sobre aterro sanitário no âmbito da economia circular como instrumento para gestão de resíduos sólidos urbanos.

Referencial teórico: A base teórica desta pesquisa buscou discutir o tema da economia circular e sua relação com a gestão de resíduos sólidos em diferentes contextos dos países.

Método: A metodologia deste estudo foi baseada na pesquisa bibliométrica na base dados do Web of Science a partir das palavras chaves (“landfill” AND “environmental impact” OR “solid waste” AND “circular economy”), seguida da análise estatística dos resultados e geração de gráficos e tabelas no aplicativo bibliometrix, também foi realizada análise qualitativa dos artigos mais citados e dos métodos empregados para 30 artigos selecionados sobre gestão de resíduos e economia circular.

Resultados e conclusão: Os resultados identificaram 667 publicações entre os anos de 2008 a 2021, apresentando um crescimento científico e importante contribuição dos autores para os estudos sobre a economia circular aplicada a gestão de resíduos sólidos nos países mundiais. Diante dos resultados percebeu que a economia circular contribui para a gestão de resíduos sólidos ao serem estabelecidos nos países estratégias para minimizar os impactos e disposição dos resíduos em aterro sanitário e inserir os critérios de reutilização, reciclagem e reinserir um produto na cadeia de produção.

Implicações da pesquisa: A pesquisa bibliométrica permite criar uma base de dados confiáveis de publicações científicas, cujo o estado-da-arte sobre a economia circular aplicada a gestão de resíduos sólidos permite identificar as principais práticas aplicadas em diferentes países mundiais,

Originalidade/valor: O estudo aplica diferentes métodos para analisar o campo de estudos da economia circular aplicada ao aterro sanitário, a fim de evidenciar a importância do tema frente ao cenário mundial, bem como as inovações e estratégias já executadas. Este artigo buscou apresentar tendências científicas, das quais podem ser desenvolvidas novas pesquisas em diferentes países que buscam adotar alternativas sustentáveis para a gestão de resíduos sólidos.

Palavras-chave: Economia Circular, Aterro Sanitário, Gestão de Resíduo Sólido, Web of Science.

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil. E-mail: najilasil@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1651-4113>

² Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: edson.sano@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5760-556X>

³ Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil. E-mail: joselisa@uefs.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3627-8074>

⁴ Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: rejaneig@unb.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8199-5163>



BIBLIOMETRIC ASPECTS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE CIRCULAR ECONOMY AND LANDFILL

ABSTRACT

Objective: This article aims to identify the trends of scientific publications on sanitary landfills in the context of the circular economy as an instrument for urban solid waste management.

Theoretical framework: The theoretical basis of this research sought to discuss the theme of circular economy and its relationship with solid waste management in different contexts of countries.

Method: The methodology of this study was based on the bibliometric search in the Web of Science database from the keywords ("landfill" AND "environmental impact" OR "solid waste" AND "circular economy"), followed by the statistical analysis of the results and generation of graphs and tables in the bibliometrix application, qualitative analysis of the most cited articles and the methods used for 30 selected articles on waste management and circular economy was also carried out.

Results and conclusion: The results identified 667 publications between the years 2008 and 2021, presenting a scientific growth and important contribution of the authors to studies on the circular economy applied to solid waste management in world countries. In view of the results, he realized that the circular economy contributes to the management of solid waste by establishing strategies in the countries to minimize the impacts and disposal of waste in landfills and insert the criteria of reuse, recycling and reinsertion of a product in the production chain.

Research implications: The bibliometric research allows the creation of a reliable database of scientific publications, whose state-of-the-art on the circular economy applied to solid waste management allows the identification of the main practices applied in different countries worldwide.

Originality/value: The study applies different methods to analyze the field of studies of the circular economy applied to landfills, in order to highlight the importance of the theme in the world scenario, as well as the innovations and strategies already executed. This article sought to present scientific trends, from which new research can be developed in different countries that seek to adopt sustainable alternatives for solid waste management.

Keywords: Circular Economy, Landfill, Solid Waste Management, Web of Science.

ASPECTOS BIBLIOMÉTRICOS DE LAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS SOBRE LA ECONOMÍA CIRCULAR Y LOS VERTEDEROS

RESUMEN

Objetivo: El presente artículo tiene como objetivo identificar las tendencias de las publicaciones científicas sobre vertederos sanitarios en el contexto de la economía circular como instrumento para la gestión de residuos sólidos urbanos.

Marco teórico: La base teórica de esta investigación buscó discutir el tema de la economía circular y su relación con la gestión de residuos sólidos en diferentes contextos de países.

Método: La metodología de este estudio se basó en la búsqueda bibliométrica en la base de datos Web of Science a partir de las palabras clave ("vertedero" Y "impacto ambiental" O "residuos sólidos" Y "economía circular"), seguido del análisis estadístico de los resultados y generación de gráficos y tablas en la aplicación bibliométrica, también se llevó a cabo el análisis cualitativo de los artículos más citados y los métodos utilizados para 30 artículos seleccionados sobre gestión de residuos y economía circular.

Resultados y conclusión: Los resultados identificaron 667 publicaciones entre los años 2008 y 2021, presentando un crecimiento científico y una importante contribución de los autores a los estudios sobre la economía circular aplicada a la gestión de residuos sólidos en países del mundo. En vista de los resultados, se dio cuenta de que la economía circular contribuye a la gestión de los residuos sólidos estableciendo estrategias en los países para



minimizar los impactos y la eliminación de residuos en los vertederos e insertar los criterios de reutilización, reciclaje y re inserción de un producto en la cadena de producción.

Implicaciones de la investigación: La investigación bibliométrica permite la creación de una base de datos fiable de publicaciones científicas, cuyo estado del arte sobre la economía circular aplicada a la gestión de residuos sólidos permite la identificación de las principales prácticas aplicadas en diferentes países del mundo.

Originalidad/valor: El estudio aplica diferentes métodos para analizar el campo de estudios de la economía circular aplicada a los vertederos, con el fin de resaltar la importancia del tema en el escenario mundial, así como las innovaciones y estrategias ya ejecutadas. Este artículo buscó presentar las tendencias científicas, a partir de las cuales se pueden desarrollar nuevas investigaciones en diferentes países que buscan adoptar alternativas sostenibles para la gestión de residuos sólidos.

Palabras clave: Economía Circular, Vertedero, Gestión de residuos sólidos, Web de la Ciencia.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

A geração global de resíduos sólidos está estimada em 2,01 bilhões de toneladas, sendo responsáveis por 5% das emissões globais de gases poluentes (Velvizhi et al., 2020). O crescimento da população e a urbanização mundial gerou uma demanda de extração de matéria prima para a produção de produtos complexos e descartáveis, dois quais o consumo destes têm gerado uma grande demanda de aterros sanitários para a destinação final de resíduos sólidos urbanos. A atividade de aterro sanitário envolve alto potencial de impactos ambientais e sociais e a sua instalação requer técnicas cuidadosas de tratamento e operação de efluentes líquidos. Os impactos ambientais provenientes dos aterros sanitários incluem a poluição do aquífero pelo lixiviado, emissões de gases de efeito estufa, geração de odores, contaminação do solo e risco de vetores à saúde humana (Mathioudakis et al., 2020).

A economia global está pautada no modelo linear de produção e consumo na qual as mercadorias são produzidas com matérias-primas virgens, vendidas, usadas e descartadas como resíduos nos lixões ou aterros sanitários (MacArthur, 2015). Do ponto de vista mundial, os países mais desenvolvidos possuem estratégias para melhor gestão de resíduos sólidos urbanos, baseadas na minimização, reutilização, reciclagem e recuperação de energia (Andrade e Ferreira, 2011). Todo resíduo deve ser otimizado em seu máximo potencial de uso e aproveitamento, sendo o aterro sanitário a última solução para o seu destino. Buscar alternativas apoiadas em tecnologias bem como integrar princípios socioambientais ganharam força no cenário internacional com a proposta da economia circular que é considerada



restaurativa e regenerativa por princípio e tem, como objetivo, manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor (MacArthur, 2015).

Inserir a economia circular para potencializar a reciclagem, bem como as estratégias de reutilização e transformação do resíduo em energia, impulsiona a economia e minimiza os impactos ambientais. A reintrodução desses materiais como recursos brutos em uma cadeia de produtos corresponde a práticas ambientais e sociais mais vantajosas que o descarte ou a incineração (King e Gutberlet, 2013).

A investigação do cenário local e contexto mundial dos resíduos sólidos a partir da identificação de publicações de artigos, teses, dissertações e relatórios nas áreas de ciências ambientais constituem-se em ferramentas de análise e compreensão dos estudos referente a este tema. A bibliometria fornece dados de cunho estatístico para quantificar publicações e pesquisas científicas em diversas áreas. Segundo Perez Matos (2002), a bibliometria é uma ferramenta capaz de determinar fenômenos e tendências que ocorrem no âmbito científico a partir de suas publicações. Este artigo apresenta como objetivo identificar as tendências de publicações científicas sobre aterro sanitário no âmbito da economia circular como instrumento para gestão de resíduos sólidos urbanos.

2 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E ECONOMIA CIRCULAR

O modelo econômico vigente é considerado linear devido à extração de matéria-prima, exploração de recursos naturais e cadeia de produção de bens complexos que são consequência direta do consumo de diversos tipos de materiais, com geração diária de toneladas de resíduos sólidos, desde a fonte até o destino final. Este modelo de produção linear transforma a matéria-prima em produtos que são embalados, vendidos, consumidos e descartados (Assunção, 2019). A poluição oriunda do descarte irregular de resíduos sólidos é preocupante para os ecossistemas terrestre e marinho. Segundo Zaleski e Chawla (2020), a poluição por plásticos aumentou de 4,86 bilhões em 1980 para 7,8 bilhões em 2020.

Diante dos desafios globais de sustentabilidade ambiental, a redução na geração de resíduos, a necessidade de construção de aterros sanitários, a inserção de novas tecnologias e a implementação de políticas e planos de gestão para os resíduos sólidos estão em pauta nas políticas e legislações mundiais. Em 2008, a União Europeia adotou o conceito de economia circular, definido pela Fundação Ellen MacArthur (2015) como restauradora e regenerativa por



design. Seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor em todos os momentos.

A agenda para o desenvolvimento sustentável proposta pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, incluindo a Agenda 2030, assumiu o compromisso de reduzir desigualdades. Valenzuela-Levi (2019) destacou que uma das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) é reduzir substancialmente a geração de resíduos sólidos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reaproveitamento até 2030. A gestão de resíduo sólido urbano (RSU) está incluída na Meta 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) do ODS, a qual se conecta com a gestão de resíduos nos três pilares do desenvolvimento sustentável: saúde ambiental, saúde humana e progresso econômico, os quais podem ser alcançados pelas boas práticas da economia circular (Elgie et al., 2021; Llanquileo-Melgarejo et al., 2021).

A economia circular reduz significativamente o consumo de matéria-prima virgem, aumenta o uso de recursos renováveis, reduz a necessidade de espaço para aterro e melhora a qualidade ambiental (Plastinina et al., 2019). Trata-se de um conceito que integra as esferas social, ambiental e econômica. Assunção (2019) destacou que a importância da abordagem *cradle to cradle* (do berço ao berço) está na proposta de uso seguro e potencialmente infinito de materiais em ciclos, isto é, os recursos são reutilizados indefinidamente, circulando em fluxos seguros e saudáveis para os seres humanos e para a natureza. Inserir a economia circular na gestão dos resíduos sólidos urbanos de forma ambientalmente correta, segura e sustentável deve ser uma das principais prioridades de qualquer país ou sociedade moderna (Traven et al., 2018).

Em alguns países da Europa, as taxas de reciclagem são alcançadas por meio de investimentos em tecnologias, como tratamento mecânico químico, recuperação energética através da biodigestão anaeróbia, biogás, programas de coleta seletiva em pontos estratégicos ou cobrança da taxa do serviço, no qual cada família é responsável pela geração dos seus resíduos, separação dos materiais reciclados e pagamento de taxas ou impostos sobre resíduo sólido. A Suécia alcançou o melhor desempenho na União Europeia ao adotar a redução e reciclagem associada ao tratamento térmico por incineração e recuperação das cinzas de fundo como matéria-prima para construção civil (ABIS et al., 2020).

Segundo Rolewicz-Kalińska et al. (2020), a Comunidade Europeia tem encontrado desafios para implementar a gestão de resíduos sólidos com base nas metas da Diretiva de Economia Circular, pois as altas taxas de reciclagem incluem investimentos em tecnologias e transformação social da população. Para Sorkun (2018), as normas sociais influenciam e



determinam o interesse dos europeus em separar e encaminhar para reciclagem os seus resíduos sólidos.

A economia circular foi inserida na China em 2002 por meio da promulgação da Lei de Promoção da Produção Limpa (Assunção, 2019). Entre os desafios de gestão de resíduos, destacam-se a reciclagem dos materiais de construção civil, a sistematização da simbiose entre os parques industriais e a diminuição da demanda por aterros sanitários. Em contrapartida, o Japão tem apresentado resultados positivos ao inserir, na gestão de resíduos sólidos, a meta de emissão zero por meio do sistema de avaliação do ciclo de vida, minimização, reciclagem, transporte e comércio para venda dos resíduos sólidos (VelvezhI *et al.*, 2020).

O país Estados Unidos adota como destino final para os resíduos sólidos, os aterros sanitários, como consequência, as emissões de metano têm sido a terceira maior fonte de poluição antropogênica no país (Powell e Chertow, 2019). Já os países latinos como Brasil, Bolívia e Chile destacam a importância das cooperativas de reciclagem para alcançar a gestão eficiente de resíduos sólidos. Essas cooperativas são os principais responsáveis pelo maior percentual de reciclagem, porém, apresentam dificuldades de estrutura, financiamento, renda e saúde. No Brasil, os catadores respondem por quase 90% dos resíduos reciclados, atuando nas diferentes etapas da coleta seletiva (Guarnieri *et al.*, 2020). Segundo Valenzuela-Levi (2019), os desafios do Chile são tornar a reciclagem obrigatória para os municípios, definir metas e introduzir impostos sobre aterro sanitário.

Para Llanquileo-Melgarejo *et al.* (2021), entre os desafios da gestão de resíduos sólidos na América Latina e Caribe, estão os aterros não controlados, baixa taxa de recuperação dos resíduos, dificuldade em implementar políticas públicas que consigam inserir o fator social por meio dos catadores, financiamento, mercado e condições regionais para alcançar as metas traçadas de reciclagem.

Diante do cenário exposto a economia circular e a efetivação das metas dos objetivos de desenvolvimento sustentável, se apresentam como possibilidade para garantir a gestão de resíduo sólido em diferentes países mundiais. Mesmo com a particularidade e disponibilidade financeira de diferentes países é possível realizar mudanças nos cenários locais e ampliar as metas de reciclagem e de recuperação energética para os resíduos sólidos.



3 MÉTODO

O método utilizado neste estudo foi a análise quantitativa de dados de pesquisa bibliométrica que pode ser definida como um conjunto de leis e princípios aplicados a métodos estatísticos e matemáticos que visam mapear a produtividade científica de periódicos, autores e representação da informação (Café e Bräscher, 2008). As publicações científicas foram identificadas por meio da plataforma de periódicos do portal Capes, uma biblioteca virtual com conteúdo científico de alto nível e disponível à comunidade acadêmico-científica (Capes, 2020). Ela está integrada à base de dados do *Web of Science*, uma plataforma multidisciplinar de publicações científicas globais. Os artigos e as referências citadas dos periódicos, ao serem indexados, criam uma rede de citações abrangente (Clarivate, 2020), possibilitando análises confiáveis das publicações encontradas nesta base de dados aberta.

3.1 BASE DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados bibliométricos foram adquiridos na base do *Web of Science*, a partir das seguintes palavras-chaves e conectores lógicos: “landfill” AND “environmental impact” OR “solid waste” AND “circular economy”. A escolha do termo da pesquisa por tópicos engloba resultados encontrados no título, resumo e palavras-chaves. A sistematização dos dados bibliométricos foi realizada no pacote estatístico Bibliometrix, uma ferramenta de código aberto disponível na linguagem de programação estatística R Studio, projetada para executar análises abrangentes de mapeamento de publicações científicas (Aria e Cuccurullo, 2017). A inserção de novas tecnologias de acesso livre e gratuito é importante para otimizar e facilitar análises de grande fluxo de dados com eficiência. No aplicativo R Studio, foram ativados os seguintes códigos de comando do Bibliometrix: *install.packages ("bibliometrix")* para instalar a biblioteca de dados e códigos de execução do Bibliometrix; e *library (bibliometrix)*, *biblioshiny()*. A tabela de resultados das publicações científicas foi inserida no pacote Bibliometrix, na qual foram analisadas as informações de citações, universidades, autores, artigos, países, redes de colaboração e palavras-chave.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa bibliométrica identificou 667 publicações científicas no período de 2008 a 2021, as quais foram analisadas as tendências de crescimento no número de publicações sobre aterro sanitário, economia circular e resíduos sólidos, bem como as principais instituições, países e rede de colaborações. A média de citações por artigo foi de 8,86. A maior parte dos artigos foram elaborados por múltiplos autores: total de 2.561 pesquisadores, com média de 3,87 autores por documento e índice de colaboração de 3,98 (Tabela 1), indicando uma rede de difusão de conhecimento entre pesquisadores e instituições. Apenas 23 artigos apresentaram autoria única. Dos 667 artigos, foram identificadas 2.318 palavras-chaves.

Tabela 1

Resultados gerais da pesquisa bibliométrica

Dados de Publicação	Resultados
Intervalo de tempo	2008-2021
Artigos	667
Média de citações por documento	8,86
Documentos de autoria única	23
Documentos de autoria múltipla	2.561
Média de autores por documento	3,87
Índice de colaboração	3,98
Palavras-chave	2.318

Fonte: dados da pesquisa

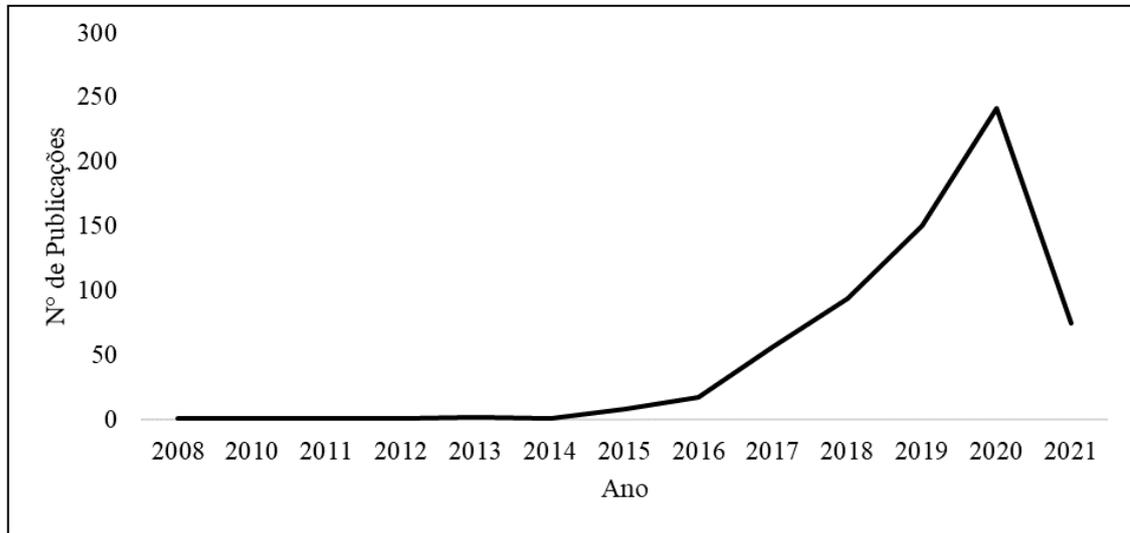
4.1 RELAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES COM AS INSTITUIÇÕES E PAÍSES

As publicações científicas apresentaram uma tendência de crescimento anual de 43,3% (Figura 1). Entre os anos de 2008 a 2016, foram identificados 32 artigos. Para os anos de 2017 a 2020, houve um aumento de 57 para 243. O ano de 2021 apresentou 75 publicações até o primeiro trimestre (janeiro a março), período que foi coletado os dados.



Figura 1

Evolução anual das publicações científicas



Fonte: Bibliometrix

Este resultado pode estar relacionado às legislações europeias de economia circular, aprovada em 2015, a fim de promover a transição do modelo de economia linear para a economia circular em todo bloco europeu e conseqüentemente expandir para outros países mundiais. No Brasil o marco legal para resíduos é a Política Nacional de Resíduo Sólido (PNRS), aprovada em 2010, com isso, ao longo dos anos, as universidades brasileiras e institutos de pesquisa ampliaram as publicações, discussões e medidas sustentáveis relacionadas aos aterros sanitários.

Os periódicos que apresentam os maiores quantitativos de artigos publicados em revistas internacionais foram o *Journal of Cleaner Production* (73 artigos), *Waste Management* (72), *Sustainability* (40), *Resources Conservation and Recycling* (36) e *Science of the Total Environment* (26) (Tabela 2). Estas revistas apresentam fator de impacto (*h-index*) entre 9 e 19. O *h-index* mensura o total de documentos publicados em determinado ano para o total de citações recebidas. Os demais periódicos listados na Tabela 2 concentram a média de 15 a 19 publicações, com *h-index* entre 5 a 6. As revistas apresentadas abrangem publicações nas áreas de Ciências Ambientais, Ecologia, Engenharia e Química.



Tabela 2

Periódicos mais relevantes

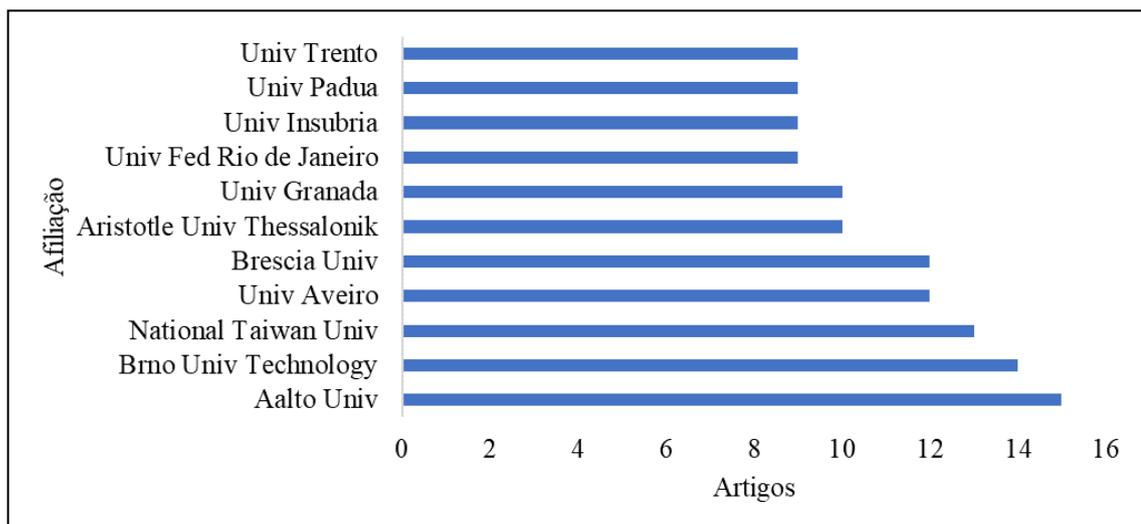
Revista	Artigos	H-Index
Journal of Cleaner Production	73	19
Waste Management	72	15
Sustainability	40	10
Resources Conservation and Recycling	36	14
Science of the Total Environment	26	9
Energies	19	6
Waste and Biomass Valorization	18	5
Waste Management & Research	18	5
ACS Sustainable Chemistry e Engineering	15	5
Environmental Science and Pollution Research	15	5

Fonte: dados da pesquisa

A Figura 2 destaca as afiliações mais relevantes, entres as quais estão as seguintes instituições europeias: Universidade de Aalto, Finlândia (15 artigos); Universidade de Tecnologia de Brno, República Tcheca (14); Universidade Nacional de Taiwan, Taiwan (13); Universidade de Aveiro, Portugal (12); Universidade de Brescia, Itália (12); Universidade Aristóteles de Thessaloníki, Grécia (10); e Universidade de Granada, Espanha (10). A Universidade Federal do Rio de Janeiro aparece na oitava posição com 9 artigos, destacando-se nos estudos sobre aterros sanitários e com um núcleo de economia circular que desenvolve pesquisas e *hub* de negócios no Brasil. As Universidades de Insubria, Pádua e Trento, na Itália, apresentaram 9 artigos por instituição.

Figura 2

Afiliações mais relevantes



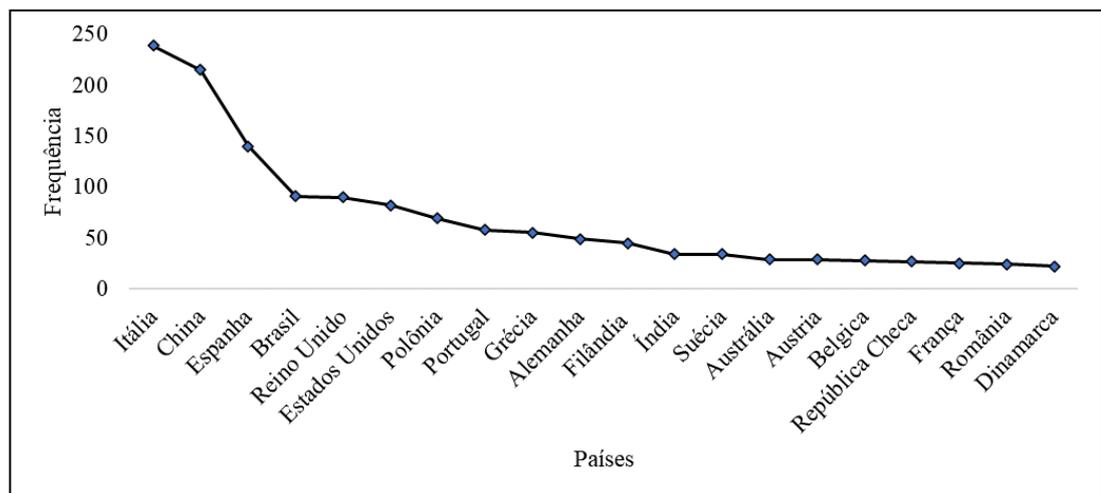
Fonte: Bibliometrix



Os países com maior frequência de publicação foram Itália, China e Espanha (Figura 3). Tisserant *et al.* (2017) abordaram a importância do pacote de economia circular adotado pela União Europeia para reciclagem e redução de aterro sanitário de RSU de 60% para 10% até 2030. Em 2009, a China implantou a lei de promoção da economia circular, porém, tem enfrentado desafios na gestão dos resíduos sólidos. No continente americano, aparecem os Estados Unidos e o Brasil que possuem uma relação entre a produção de resíduos sólidos e a dependência de aterros sanitários para destinação final. Segundo Tisserant *et al.* (2017), Rússia é a maior geradora de resíduos sólidos, seguida por China, Estados Unidos, Brasil, México e Canadá que utilizam principalmente aterros sanitários para o seu descarte.

Figura 3

Frequência de produção científica em diferentes países



Fonte: Bibliometrix

Outro grupo de países identificados foram a Polônia, Portugal, Grécia, Alemanha, Finlândia, Índia e Suécia. A Finlândia estabeleceu metas de reciclagem e reutilização de resíduos sólidos municipais, definidas em 45% para 2020 e em 65% para 2030 (Dahlbo *et al.*, 2018). Em 2015, com a aprovação de normas sobre economia circular na União Europeia, os países europeus adotaram metas e objetivos de inserir o tratamento dos resíduos sólidos no processo de fechar o ciclo de materiais por meio do reuso, reciclagem e reaproveitamento energético. Na Alemanha, os sistemas de processamento e reciclagem de resíduos são bem estabelecidos, onde menos de 10% de total de resíduos são destinados aos aterros sanitários (Tisserant *et al.*, 2017).

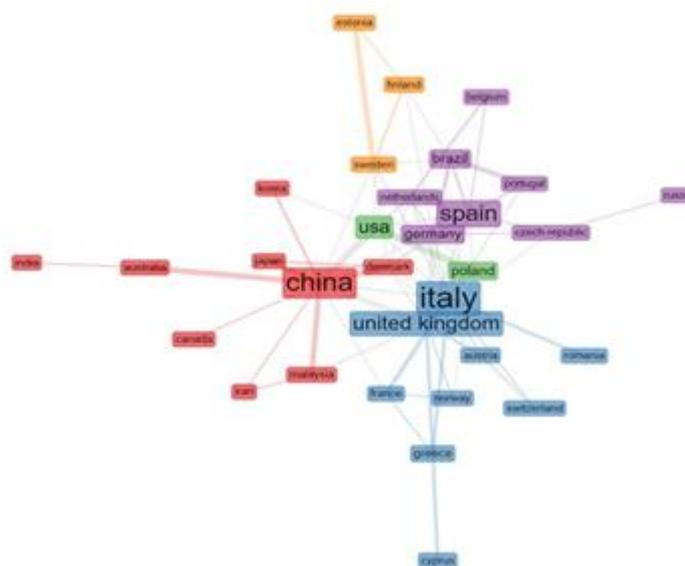


Uma pesquisa bibliométrica realizada por Tsai *et al.* (2020) identificou Reino Unido, China, Itália, Estados Unidos e Espanha como os países mais produtivos em termos de número de publicações relacionadas com aterro sanitário. A Europa é o continente que fornece maior informação sobre economia circular e gestão de resíduos sólidos, seguido da China, Japão e América Latina.

A rede de colaboração entre os países observada na Figura 4 evidencia a cooperação entre pesquisadores de vários países. Ao documentar uma colaboração entre dois ou mais autores, formam uma "rede de coautoria" (Newman, 2004). Os nós indicam os países que colaboram de acordo a frequência, destacando-se cinco agrupamentos: I) Itália, Reino Unido, Grécia, Áustria, România e França; II) China, Japão, Dinamarca, Austrália, Índia, Canadá, Irã e Malásia; III) Espanha, Alemanha, Bélgica, Brasil, Portugal, República Tcheca e Rússia; IV) Estônia, Finlândia e Suécia; e V) Estados Unidos e Polônia.

Figura 4

Rede de colaboração entre países





são referentes à Suíça, Finlândia e Romênia. Países de outros continentes como Austrália, Bolívia, países asiáticos e a China destacaram-se com quatro publicações entre as mais citadas (Tabela 3).

Tabela 3

Autores e publicações mais citados

Primeiro Autor	Ano	Revista	Citações
Malinauskaite J	2017	Energy	192
Schroeder P	2019	J Industrial Ecology	154
Brooks AL	2018	Science Advances	124
Hu J	2011	J Cleaner Production	122
Haupt M	2017	J Industrial Ecology	87
Tisserant A	2017	J Industrial Ecology	81
Dahlbo H	2018	Waste Manage	77
Sun L	2017	Resources Conservation e Recycling	67
Wei W	2017	Water Research	66
Monlau F	2016	Applied Energy	66
Dong L	2013	Energy Policy	66
Mahopour A	2018	Resources Conservation e Recycling	58
Ferronato N	2019	J Environmental Management	56

Fonte: dados da pesquisa

Os autores mais citados possuem correlação entre os temas e países. Os dois artigos mais citados, publicados por Malinauskaite *et al.* (2017) e Schroeder *et al.* (2019) (Tabela 3) abordaram a gestão de resíduos sólidos na União Europeia, bem como a integração dos objetivos propostos na agenda 2030 para melhorar as taxas de reciclagem, recuperação energética, sugerindo a economia circular como um dos instrumentos para alcançar as metas dos objetivos para o desenvolvimento sustentável. Ambos os autores destacaram a importância dos indicadores ambientais e sociais para uma gestão sustentável que integre todos os setores da sociedade.

Tisserant *et al.* (2017), ao analisarem a produção de resíduos sólidos no mundo, utilizaram um banco de dados multirregional denominado EXIOBASE v.2 que inclui tabelas globais de emissão e extração de recursos pelas indústrias. Em países de alta renda, indústrias, setores de serviços e residências geram de 1 a 2 toneladas de resíduos sólidos per capita por ano. Os fluxos de resíduos per capita relatados diminuem com a renda per capita, como Brasil, China e Turquia. Em 2007, 1,5 Gt de resíduos sólidos foram depositados em aterro.

Haupt *et al.* (2017) e Dahlbo *et al.* (2018) analisaram dados da economia circular na Finlândia e Suíça. Esses países utilizam a incineração dos resíduos sólidos, a taxa de reciclagem é de 50%, predominando os plásticos associados à cadeia de consumo europeia. As metas de



economia circular para reciclagem e geração de energia precisam ser ampliadas por meio de políticas e investimentos em tecnologias e programas de reciclagem. Monlau *et al.* (2016) e Wei *et al.* (2017) analisaram as tecnologias de recuperação energética dos resíduos sólidos como a digestão anaeróbica e a pirólise que são tecnologias de degradação biológica. Esses produtos podem ser utilizados como fertilizantes, neutralização do carbono, tratamentos à base de amônia livre e tecnologias para lodo de estação de tratamento de águas residuais e geração de energia.

Hu *et al.* (2011), Dong *et al.* (2013), Sun *et al.* (2016) e Brooks *et al.* (2018) apresentaram o conceito de ecologia industrial para produção mais limpa de couro e simbiose industrial para melhoria da eficiência dos recursos nos parques industrial da China. Que apresentam como vantagens a redução da geração de resíduos e emissões de gases do efeito estufa, a produção de energia e a troca de subprodutos entre diferentes processos que podem gerar benefícios econômicos e ambientais em indústrias e comunidades agrupadas.

A China, em 2017, proibiu a importação de resíduos plásticos no país para incorporar as práticas de economia circular e estabelecer critérios ambientais referentes a embalagens plásticas que apresentam elevado grau de contaminação, devido à grande variedade de usos, aditivos e misturas que são usados em sua composição. A Organização para Cooperação Econômica (OCE) exporta resíduos de plástico (70% em 2016) para países de renda mais baixa no Leste Asiático e Pacífico, o que identifica a contrariedade em relação ao rápido aumento de taxas de reciclagem na União Europeia e as propostas de gestão sustentável.

Mahpour (2018), ao analisar o cenário de economia circular para resíduos de construção e demolição, enfatizou a carência de indicadores apropriados para medir a redução e reutilização de fontes. Diante das metas estabelecidas pela União Europeia, a visão holística da economia circular foi inibida pela ênfase exagerada na reciclagem e reutilização. Ferronato *et al.* (2019) abordaram os desafios e a importância de implementar a economia circular nos países em desenvolvimento, por meio da introdução de políticas ambientais, investimentos efetivos, inclusão social, conscientização pública, valorização e reciclagem dos resíduos sólidos para dinamizar as economias em desenvolvimento.

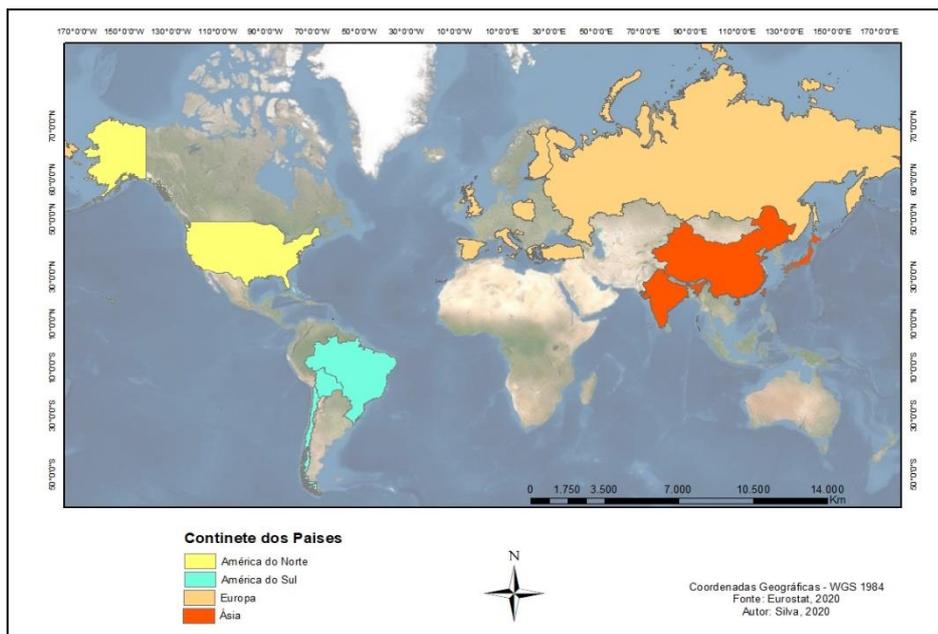


4.3 ANÁLISE DOS ARTIGOS SOBRE ECONOMIA CIRCULAR E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Dentre os cinco grupos de palavras-chave encontrados nos resultados gerais da bibliometria, foi escolhida a palavra gestão de resíduos sólidos e filtrados 30 artigos sobre o tema para análise. Na Figura 6, são destacados os países estudados por esses 30 artigos, predominando os seguintes países: Grécia, Finlândia, Itália, Espanha, Reino Unido, Rússia, Suíça, Polônia e República Tcheca (Europa); China, Japão e Índia (Ásia); Estados Unidos (América do Norte); e Brasil, Chile e Bolívia (América Latina). Os países africanos não apresentaram publicações neste filtro.

Figura 6

Mapa dos países identificados nos artigos



Fonte: Elaborado pelos autores

Para discutir o tema de gestão de resíduos sólidos, os autores utilizaram diversas metodologias de pesquisa como atividade e coleta de dados e amostras em campo de materiais de aterro sanitário e incineradores para análise em laboratório da composição dos resíduos, entrevistas e questionários com empresas, órgãos públicos e cooperativas. O uso de aplicativos web e bases de dados disponíveis em nuvem aparecem como tendência para os formuladores e gestores de políticas públicas. Tratam-se de ferramentas de apoio às decisões estratégicas



relacionadas com oportunidades de valorização dos resíduos, opções de reciclagem e disponibilidade de fluxos de resíduos como matérias-primas (Paul e Bussemaker, 2020).

A metodologia que predomina nos artigos é a modelagem estatística para indicadores ou dados de reciclagem. Os autores utilizam dados estatísticos como ferramenta essencial na gestão de resíduos, pois é possível modelar cenários, aplicar indicadores, administrar banco de dados e melhorar programas e políticas locais. Segundo Rathore e Sarmah (2020), os pesquisadores têm contribuído para aumentar o conhecimento de gestão de resíduos sólidos ao utilizar várias tecnologias de reciclagem e modelos matemáticos, a exemplo da análise de fluxo de massa, uma ferramenta de contabilidade de recursos baseada em sistemas que ligam importação, consumo e descarte de materiais recicláveis (Elgie *et al.*, 2021).

Mathioudakis *et al.* (2020) apontaram que a falta de estatísticas aplicadas aos dados de resíduos sólidos é uma limitação para os planos de gestão adequados ao meio ambiente e com viabilidade econômica. Abis *et al.* (2020) destacaram que os dados para medir o progresso dos países rumo a economia circular através de um conjunto de indicadores ainda são escassos.

A modelagem de indicadores dos resíduos sólidos tem ganhado destaque e importância com a pandemia oriunda do Covid-19, estabelecendo novos padrões de consumo dos resíduos sólidos, aumento na geração de resíduos domésticos e novos desafios na realização de pesquisas de campo e coletas de dados atualizados. Segundo Zaleski e Chawla (2020), com a pandemia do COVID-19, governos de todo o mundo estão se esforçando para fortalecer as economias novamente, usando novas tecnologias e sistemas e soluções aplicadas à gestão de resíduos sólidos.

Quanto ao método empregado nos países para destinação final dos resíduos sólidos na Europa, destacam-se a incineração e a torrefação. Nos países da América do Norte e América Latina, o aterro sanitário é a alternativa mais utilizada, porém, aparecem ainda o uso de lixões a céu aberto e aterro controlado como depósito dos resíduos.

Entre alguns autores, predominam opiniões divergentes sobre qual método é mais seguro para o meio ambiente. Alguns consideram o aterro sanitário como atividade de grande potencial poluidor, enquanto a incineração é vista como uma tecnologia eficaz, contribuindo para alcançar as metas de economia circular propostas na Diretiva da União Europeia, pois é considerada como um tipo de energia renovável devido à reciclagem e reaproveitamento de RSUs e resíduos industriais (Lu *et al.*, 2017). Mathioudakis *et al.* (2020) indicaram que 12% das emissões globais de metano estão relacionadas à decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários. A incineração seria um processo ineficiente quando o teor de umidade do



resíduo é alto. Além disso, a incineração gera aumento na emissão de gases de efeito estufa e as cinzas contêm materiais tóxicos que podem contaminar o solo e o lençol freático.

O principal ponto em comum encontrado nos artigos selecionados foi a importância dada pelos países em implementar a reciclagem baseada em economia circular, pois os resíduos sólidos são vistos como recurso e podem ser utilizados na reciclagem ou geração de energia, reduzindo a necessidade de extração de matéria-prima e de implantação de novos aterros sanitários. Segundo Agovino *et al.* (2020), não é possível atingir as metas de reciclagem sem levar em conta a questão da eficácia da coleta seletiva de resíduos. Para Sastre *et al.* (2018), alcançar a meta de reciclagem é um fator crucial para a melhoria da gestão de resíduos sólidos.

A gestão de resíduos sólidos é considerada como a chave para estabelecer as legislações, diretivas e planos de gestão de resíduos sólidos, ao apresentar aos formuladores de políticas públicas, um espaço para o crescimento do emprego e proteção ambiental (LIU *et al.*, 2020). Paul e Bussemaker (2020) ressaltaram a importância de estabelecer a gestão de resíduos a partir do desperdício zero dos materiais com a valorização, reciclagem ou recuperação de energia e o tratamento dos resíduos orgânicos por meio da digestão anaeróbia, a fim de estabelecer a economia circular e fechar os ciclos biológico e técnico minimizando os impactos ambientais e aumentando a sustentabilidade das cidades.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliométrica gerou dados que permitiram a compreensão da evolução das pesquisas sobre aterro sanitário. O número de publicações apresentou uma taxa de crescimento de 43% a partir de 2008. Os países europeus se destacaram com maior número de publicações científicas, principalmente a Itália, Espanha e Reino Unido.

Percebeu-se que o método de aterro sanitário gera impactos ao meio ambiente como poluição do solo e lençol freático, enquanto os materiais de valor agregado são desperdiçados. A análise baseada em economia circular sugere a implementação de tecnologias de reciclagem envolvendo diferentes tipos de resíduos sólidos, associada a uma gestão eficiente de inserção de resíduos no ciclo de reaproveitamento, reciclagem e recuperação energética, até fechar o ciclo de uso.

Os artigos mais citados abordam a economia circular no âmbito da gestão de resíduos sólidos e apontam alguns indicadores para mensurar a reciclagem e estabelecimento de metas de sustentabilidade ambiental. A incineração é o método mais adotado para descarte de resíduos



sólidos na Europa, enquanto a China, o Brasil e os Estados Unidos utilizam os aterros sanitários para o descarte dos resíduos sólidos.

Quanto à gestão de resíduos sólidos, a Europa apresenta melhor desempenho nas taxas de reciclagem, devido aos investimentos em tecnologias e programas de coleta seletiva. Dentre os países asiáticos, o Japão, ao inserir a economia circular e empregar novas tecnologias, tem alcançado bom desempenho. Já os países da América Latina encontram grandes desafios para estabelecer a gestão de resíduos sólidos devido a questões de financiamento e desigualdades regionais. Como atores da reciclagem, destacam-se os catadores que impulsionam a coleta seletiva.

Há uma preocupação mundial acentuada com as questões ambientais envolvendo o tema resíduos sólidos. Muitas ações já foram implementadas, porém, ainda se tem um longo caminho a percorrer para alcançar as metas da Agenda 2030.

A gestão de resíduos sólidos necessita ser bem estabelecida de acordo com a realidade e características de cada país de modo a gerar um novo mercado com alta relevância em termos de inserção social e ecoeficiência, voltado principalmente para os catadores que atuam em lixões e toda comunidade para alcançar resultados significativos. Finalmente, a bibliometria permitiu uma análise do panorama atual de publicações científicas nacionais e internacionais destacando a importância da economia circular para minimizar as demandas dos aterros sanitários em receber resíduos que podem ser reciclados ou transformados em energia.

REFERÊNCIAS

- Abis, M., Bruno, M., Kuchta, K., Simon, F. G., Grönholm, R., Hoppe, M., & Fiore, S. (2020). Assessment of the synergy between recycling and thermal treatments in municipal solid waste management in Europe. *Energies*, 13(23), 6412. <https://doi.org/10.3390/en13236412>
- Agenda 2030. (2015). ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável. Recuperado em 06 ago, 2020 de: <<http://www.agenda2030.com.br/>>.
- Agovino, M., Ferrara, M., Marchesano, K., & Garofalo, A. (2020). The separate collection of recyclable waste materials as a flywheel for the circular economy: The role of institutional quality and socio-economic factors. *Economia Politica*, 37, 659-681. <https://doi.org/10.1007/s40888-019-00153-9>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Brooks, A. L., Wang, S., & Jambeck, J. R. (2018). The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade. *Science advances*, 4(6), eaat0131. doi: 10.1126/sciadv.aat0131



- Café, L., & Bräscher, M. (2008). Organização da informação e bibliometria. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, (Esp), 54-75.
- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Recuperado em: 12 nov. 2020, de: <<https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?>>.
- Clarivate Analytics. Recuperado em: 11 nov. 2020, de: < <https://clarivate.com/>>.
- Dahlbo, H., Poliakova, V., Mylläri, V., Sahimaa, O., & Anderson, R. (2018). Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. *Waste management*, 71, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033>
- de Andrade, R. M., & Ferreira, J. A. (2011). A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. *Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA*, 6(1).
- de Assunção, G. M. (2019). A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. *Sistemas & Gestão*, 14(2), 223-231. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n2.1543>
- Elgie, A. R., Singh, S. J., & Telesford, J. N. (2021). You can't manage what you can't measure: The potential for circularity in Grenada's waste management system. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033>
- Ferronato, N., Rada, E. C., Portillo, M. A. G., Cioca, L. I., Ragazzi, M., & Torretta, V. (2019). Introduction of the circular economy within developing regions: A comparative analysis of advantages and opportunities for waste valorization. *Journal of environmental management*, 230, 366-378. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.095>
- Guarnieri, P., Cerqueira-Streit, J. A., & Batista, L. C. (2020). Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. *Resources, conservation and recycling*, 153, 104541. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104541>
- Haupt, M., Vadenbo, C., & Hellweg, S. (2017). Do we have the right performance indicators for the circular economy?: insight into the Swiss waste management system. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 615-627. <https://doi.org/10.1111/jiec.12506>
- King, M. F., & Gutberlet, J. (2013). Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. *Waste management*, 33(12), 2771-2780. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.031>
- Liu, Y., Park, S., Yi, H., & Feiock, R. (2020). Evaluating the employment impact of recycling performance in Florida. *Waste management*, 101, 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.025>
- Llanquileo-Melgarejo, P., Molinos-Senante, M., Romano, G., & Carosi, L. (2021). Evaluation of the impact of separative collection and recycling of municipal solid waste on



- performance: An empirical application for Chile. *Sustainability*, 13(4), 2022. <https://doi.org/10.3390/su13042022>
- Lu, Y. T., Lee, Y. M., & Hong, C. Y. (2017). Inventory analysis and social life cycle assessment of greenhouse gas emissions from waste-to-energy incineration in Taiwan. *Sustainability*, 9(11), 1959. <https://doi.org/10.3390/su9111959>
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., ... & Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy*, 141, 2013-2044. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128>
- MacArthur, E. (2015). Rumo à Economia Circular: O racional de negócio para acelerar a transição. *Ellen MacArthur Foundation*. Recuperado em: 22. dez. 2020, de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-àeconomiacircular_Updated_08-12-15.pdf>.
- Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, conservation and recycling*, 134, 216-227.
- Pérez Matos, N. E. (2002). La bibliografía, bibliometría y las ciencias afines. *Acimed*, 10(3), 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>
- Mathioudakis, D., Papadopoulou, K., Lytras, G. M., Pavlopoulos, C., Niakas, S., Filippou, K., ... & Lyberatos, G. (2021). A detailed characterization of household municipal solid waste. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 2945-2957. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01260-6>
- Monlau, F., Francavilla, M., Sambusiti, C., Antoniou, N., Solhy, A., Libutti, A., ... & Monteleone, M. (2016). Toward a functional integration of anaerobic digestion and pyrolysis for a sustainable resource management. Comparison between solid-digestate and its derived pyrochar as soil amendment. *Applied Energy*, 169, 652-662. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.084>
- Newman, M. E. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the national academy of sciences*, 101(suppl_1), 5200-5205. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307545100>
- Paul, M., & Bussemaker, M. J. (2020). A web-based geographic interface system to support decision making for municipal solid waste management in England. *Journal of cleaner production*, 263, 121461. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121461>
- Plastinina, I., Teslyuk, L., Dukmasova, N., & Pikalova, E. (2019). Implementation of circular economy principles in regional solid municipal waste management: The case of Sverdlovskaya Oblast (Russian Federation). *Resources*, 8(2), 90. <https://doi.org/10.3390/resources8020090>



- Powell, J. T., & Chertow, M. R. (2019). Quantity, components, and value of waste materials landfilled in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, 23(2), 466-479. <https://doi.org/10.1111/jiec.12752>
- Rathore, P., & Sarmah, S. P. (2020). Economic, environmental and social optimization of solid waste management in the context of circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106510. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106510>
- Rolewicz-Kalińska, A., Lelicińska-Serafin, K., & Manczarski, P. (2020). The circular economy and organic fraction of municipal solid waste recycling strategies. *Energies*, 13(17), 4366. <https://doi.org/10.3390/en13174366>
- Sastre, S., Llopart, J., & Ventosa, I. P. (2018). Mind the gap: A model for the EU recycling target applied to the Spanish regions. *Waste Management*, 79, 415-427. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.046>
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77-95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>
- Sun, L., Li, H., Dong, L., Fang, K., Ren, J., Geng, Y., ... & Liu, Z. (2017). Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and emergy evaluation approach: A case of Liuzhou city, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 119, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.007>
- Traven, L., Kegalj, I., & Šebelja, I. (2018). Management of municipal solid waste in Croatia: Analysis of current practices with performance benchmarking against other European Union member states. *Waste management & research*, 36(8), 663-669. <https://doi.org/10.1177/0734242X18789058>
- Tsai, F. M., Bui, T. D., Tseng, M. L., Lim, M. K., & Hu, J. (2020). Municipal solid waste management in a circular economy: A data-driven bibliometric analysis. *Journal of cleaner production*, 275, 124132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124132>
- Tisserant, A., Pauliuk, S., Merciai, S., Schmidt, J., Fry, J., Wood, R., & Tukker, A. (2017). Solid waste and the circular economy: a global analysis of waste treatment and waste footprints. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 628-640. <https://doi.org/10.1111/jiec.12562>
- Valenzuela-Levi, N. (2019). Factors influencing municipal recycling in the Global South: The case of Chile. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104441. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104441>
- Velvizhi, G., Shanthakumar, S., Das, B., Pugazhendhi, A., Priya, T. S., Ashok, B., ... & Karthick, C. (2020). Biodegradable and non-biodegradable fraction of municipal solid waste for multifaceted applications through a closed loop integrated refinery platform: Paving a path towards circular economy. *Science of the Total Environment*, 731, 138049. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138049>



Wei, W., Zhou, X., Wang, D., Sun, J., & Wang, Q. (2017). Free ammonia pre-treatment of secondary sludge significantly increases anaerobic methane production. *Water research*, *118*, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.015>

Zaleski, P., & Chawla, Y. (2020). Circular economy in Poland: Profitability analysis for two methods of waste processing in small municipalities. *Energies*, *13*(19), 5166. <https://doi.org/10.3390/en13195166>