



UMA ANÁLISE SOBRE PLATAFORMA INTELIGENTE DE RASTREABILIDADE E MONITORAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COM IoT E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Tânia dos Santos Nogueira Silva¹

Higor Eduardo Batista²

Thiago Fernandes³

Resumo

A presente pesquisa bibliométrica teve como objetivo analisar a aplicação de tecnologias digitais e identificar as barreiras na implementação da Logística Reversa (LR) de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Orgânicos (RSO). Para tal, foram analisados os métodos, critérios e resultados apresentados com foco na integração de ferramentas digitais emergentes (IoT, IA, Big Data, Blockchain) e na identificação dos principais entraves à execução da LR em contextos urbanos. Desta forma, o estudo adota uma abordagem comparativa e bibliométrica, considerando critérios de elegibilidade, estratégias de busca e as categorias temáticas mais recorrentes nas publicações. Os resultados preliminares indicaram que a literatura se concentra em soluções digitais voltadas à rastreabilidade, automação e otimização de processos, e enfatiza as dificuldades e barreiras enfrentadas, como a ausência de incentivos e o baixo engajamento social. Conclui-se que, apesar do avanço tecnológico, as barreiras socioeconômicas e institucionais ainda limitam a efetividade da logística reversa, exigindo políticas públicas integradas e maior inclusão digital na gestão de resíduos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Economia Circular; Inteligência Artificial; Sustentabilidade.

Abstract

This bibliometric research aimed to analyze the application of digital technologies and identify barriers to the implementation of Reverse Logistics (RL) for Municipal Solid Waste (MSW) and Organic Waste (OW). To this end, the methods, criteria, and results presented focusing on the integration of emerging digital tools (IoT, AI, Big Data, Blockchain) and the identification of the main obstacles to the execution of RL in urban contexts. Thus, the study adopts a comparative and bibliometric approach, considering eligibility criteria, search strategies, and the most recurrent thematic categories in the

¹ Bacharel em Direito e Mestranda no Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental (PPgGTA), Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT) da Universidade Federal de Rondonópolis, UFR. E-mail: tania.nogueira@aluno.ufr.edu.br

² Bacharel em Engenharia Mecânica e Mestrando no Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental (PPgGTA), Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT) da Universidade Federal de Rondonópolis, UFR. E-mail: higoreduardo97@gmail.com

³ Docente do Curso de Administração, Faculdade de Ciências Aplicadas e Políticas (FACAP) da Universidade Federal de Rondonópolis, UFR. E-mail: thiago.fernandes@ufr.edu.br



publications. Preliminary results indicated that the literature focuses on digital solutions aimed at traceability, automation, and process optimization, and emphasizes the difficulties and barriers faced, such as the lack of incentives and low social engagement. It is concluded that, despite technological advances, socioeconomic and institutional barriers still limit the effectiveness of reverse logistics, requiring integrated public policies and greater digital inclusion in waste management.

Keywords: Solid waste; Circular Economy; Artificial Intelligence; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) enfrenta desafios complexos, como a composição heterogênea dos resíduos, a falta de infraestrutura de tratamento, a baixa conscientização pública e a carência de políticas de incentivo à recuperação. A Logística Reversa (LR) surge como um instrumento crucial para superar esses obstáculos, promovendo a coleta e o retorno dos resíduos ao ciclo produtivo.

Os obstáculos encontrados na gestão de resíduos urbanos são numerosos, pois o processo envolve muitos interesses: a população, o comportamento cultural local, os interesses do executivo em cumprir os acordos de descarte correto de resíduos sólidos, os variados benefícios trazidos para a população em geral e, ainda, o respeito às propostas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Diante desse contexto, as tecnologias digitais apresentam um potencial promissor para viabilizar e otimizar a LR de RSU. A proposição de tecnologias de sensoriamento remoto, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) para rastrear, classificar e analisar resíduos gerados em pontos de coleta, permitindo o registro automatizado da origem, tipo e destino, pode transformar a gestão de resíduos.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi analisar a aplicação de tecnologias digitais e a identificação de barreiras na implementação da Logística Reversa (LR) de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Orgânicos (RSO).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Logística Reversa (LR) tem se consolidado como um instrumento essencial para a transição rumo à Economia Circular (EC), contribuindo para a redução de impactos ambientais e o aumento da eficiência no uso de recursos naturais. Estudos recentes destacam que a LR atua como elo operacional da EC, permitindo o retorno de produtos, embalagens e resíduos ao ciclo produtivo por meio de processos como reutilização, condicionamento, reciclagem e descarte adequado.

De acordo com Olipp *et al.* (2025), a economia circular propõe a substituição do modelo linear “extrair, produzir e descartar” por um sistema que mantenha o valor dos materiais pelo maior tempo possível. A LR é responsável por operacionalizar essa filosofia, criando fluxos reversos de materiais que permitem o fechamento de ciclos produtivos.

A integração entre EC e LR é fundamental para ampliar a eficiência de recursos, reduzir emissões de carbono e favorecer a sustentabilidade econômica e ambiental. No contexto das Pequenas e Médias Empresas (PMEs), essa integração ainda enfrenta desafios significativos, como restrições financeiras, falta de infraestrutura tecnológica e ausência de políticas públicas adequadas. Tais barreiras reforçam a necessidade de



estratégias colaborativas e regulatórias claras para viabilizar práticas circulares em escala regional.

A incorporação de tecnologias digitais tem transformado profundamente os processos de LR, impulsionando o conceito de Logística Reversa 4.0. Segundo Rodrigues *et al.* (2025), tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data Analytics, Blockchain e Computação em Nuvem têm potencial para otimizar o tempo de execução, reduzir custos operacionais e melhorar a rastreabilidade e a sustentabilidade dos fluxos logísticos.

Leal *et al.* (2024) complementam que, no contexto dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), há mais de 16 tecnologias digitais aplicáveis, com destaque para o uso individual ou combinado de Blockchain, IA, Big Data e IoT. Tais soluções contribuem para superar desafios estruturais e operacionais da LR municipal, como coleta ineficiente, falta de engajamento social e escassez de infraestrutura.

A LR é apontada como instrumento essencial para o gerenciamento de resíduos sólidos, especialmente em países em desenvolvimento. Teixeira *et al.* (2024) destacam que o manejo de Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) representa um desafio ambiental devido ao grande volume gerado e ao baixo reaproveitamento, agravado pela falta de separação adequada e infraestrutura. O estudo identifica como principais barreiras à implantação da LR para resíduos orgânicos a dificuldade de separação na fonte, a falta de conscientização e a baixa participação dos geradores individuais.

A literatura recente converge na visão de que a digitalização da logística reversa é fundamental para viabilizar cidades e cadeias produtivas sustentáveis. Contudo, permanecem lacunas relacionadas à integração sistêmica das tecnologias digitais, à escassez de investimentos em infraestrutura e à necessidade de capacitação dos stakeholders. A predominância de estudos teóricos e revisões sistemáticas demonstra a necessidade de pesquisas empíricas aplicadas, capazes de mensurar o impacto das tecnologias emergentes sobre indicadores de sustentabilidade, custo e eficiência operacional.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Tipo de estudo e o método científico

Trata-se de uma pesquisa bibliométrica e descritiva, com abordagem quantitativa. Felipe *et al.* (2016) citam que a bibliometria é uma técnica quantitativa e estatística usada para medir a produção e a disseminação do conhecimento científico.

O método científico adotado é o dedutivo, que parte do geral para o particular, ou seja, inicia de princípios ou premissas consideradas verdadeiras e, por meio do raciocínio lógico, chega a conclusões específicas (Vicente, 2008). Busca-se, assim, identificar padrões e lacunas na produção científica sobre tecnologias digitais e barreiras da LR.

3.2 Critérios de elegibilidade dos documentos

Neste estudo, foram aplicados alguns critérios de inclusão, como mostrado no Quadro 1. Foram considerados artigos publicados entre 2020 e 2025, disponíveis na base de dados *Web of Science*.

Esta plataforma permite identificar citações recebidas, referências utilizadas e registros relacionados, além de analisar a produção científica por meio de índices



bibliométricos (Ávila *et al.*, 2014). Os artigos selecionados foram redigidos majoritariamente no idioma inglês, com foco em gestão de resíduos sólidos, engenharia sanitária, logística reversa e tecnologias digitais aplicadas. Foram excluídos editoriais, dissertações, teses e anais de conferência, conforme o Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 - Critérios aplicados para elegibilidade dos documentos

Tipo de documento	Justificativa
Os documentos selecionados para este estudo foram somente artigos abertos e livres.	Justifica-se esse critério para garantir o acesso integral ao conteúdo, facilitando a análise detalhada dos métodos e resultados, além de assegurar a reprodutibilidade do estudo.
Idioma	Majoritariamente o inglês, por ser predominante na produção científica internacional, o que amplia o alcance e a comparabilidade dos estudos selecionados, além de facilitar a análise em plataformas como a Web of Science.
Período de publicação	Entre o intervalo de 2020 a 2025. Este intervalo abrange publicações recentes, permitindo a análise de tendências atuais e emergentes em tecnologias digitais aplicadas à logística reversa, alinhando-se ao objetivo de investigar inovações contemporâneas.
Palavras chaves	Digital technology in reverse logistics of waste, circular economy, green logistics e smart logistics. Esses termos foram selecionados para refletir o foco do estudo na interseção entre tecnologias digitais, sustentabilidade e gestão de resíduos, garantindo a recuperação de literatura relevante para os objetivos da pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es) (2025).

O Quadro 1 sintetiza os critérios de elegibilidade adotados para a seleção dos documentos que compuseram a base desta pesquisa bibliométrica. A definição desses critérios (tipo de documento, idioma, período de publicação e palavras-chave) foi fundamental para delimitar o escopo do estudo, garantindo que apenas artigos alinhados aos objetivos de investigar tecnologias digitais na logística reversa de resíduos sólidos fossem incluídos. As justificativas para cada critério visam assegurar transparência metodológica, reprodutibilidade e a relevância da amostra selecionada para a análise proposta.

3.3 Fontes de informação e período temporal de busca

A base de dados escolhida foi a *Web of Science*, por estar em operação desde 1950 e ser de acesso aberto. As revisões analisadas cobriram o período de 2020 a 2025, com o objetivo de buscar o que está sendo discutido e em vigor sobre tecnologias utilizadas para esse assunto e as principais problemáticas enfrentadas na implementação prática e seus resultados.

3.4 Estratégias de busca dos documentos

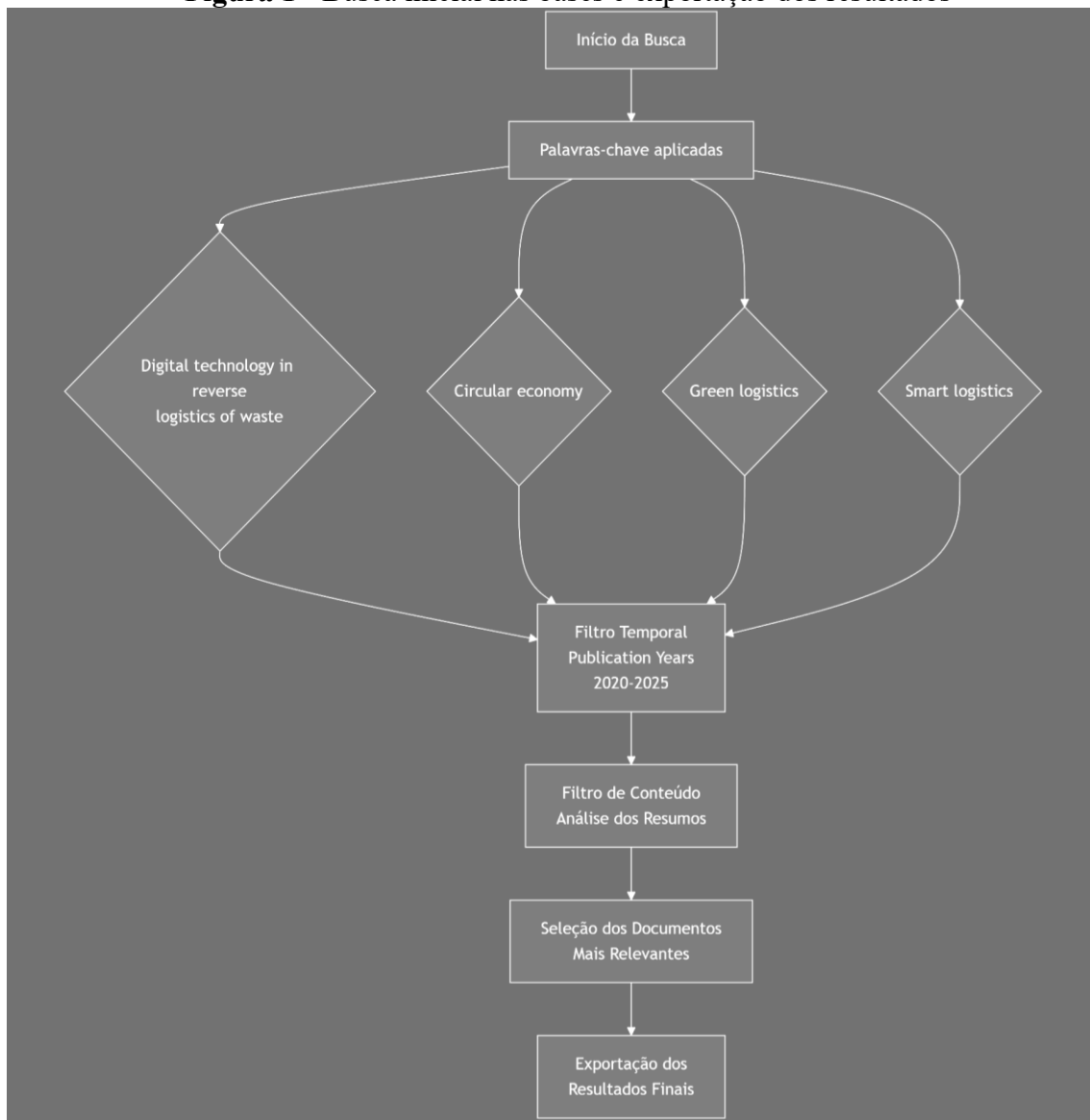


As buscas foram realizadas utilizando o operador booleano "AND" e as seguintes palavras-chave: *Digital technology in reverse logistics of waste, circular economy, green logistics e smart logistics*.

3.5 Seleção dos estudos

A seleção dos estudos foi realizada no seguinte fluxograma abaixo mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Busca inicial nas bases e exportação dos resultados



Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es) (2025).

A Figura 1 representa o fluxograma metodológico adotado para a busca e seleção inicial dos documentos que compuseram a base desta pesquisa bibliométrica. Este diagrama visual descreve de forma sequencial as etapas percorridas, partindo da aplicação das palavras-chave pré-definidas nas bases de dados, passando pela aplicação dos filtros



temporais (2020-2025) e de conteúdo (análise de relevância via resumo), até a etapa final de exportação dos resultados elegíveis.

Desta maneira, salienta-se que a figura tem como objetivo garantir transparência e reprodutibilidade ao processo de triagem da literatura, ilustrando claramente o caminho percorrido desde a busca inicial até a consolidação documental a ser analisada.

3.6 Análise dos dados

Os documentos foram tratados na própria base de dados, realizando a seleção de todos os resultados da busca, e selecionando a opção *Analyze Results*, sendo analisados com alguns indicadores: número de publicação por ano, área de pesquisa e número de publicação por país, esses indicadores foram analisados ainda utilizando Vosviewer, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Coocorrência de palavras-chave



Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es) (2025).

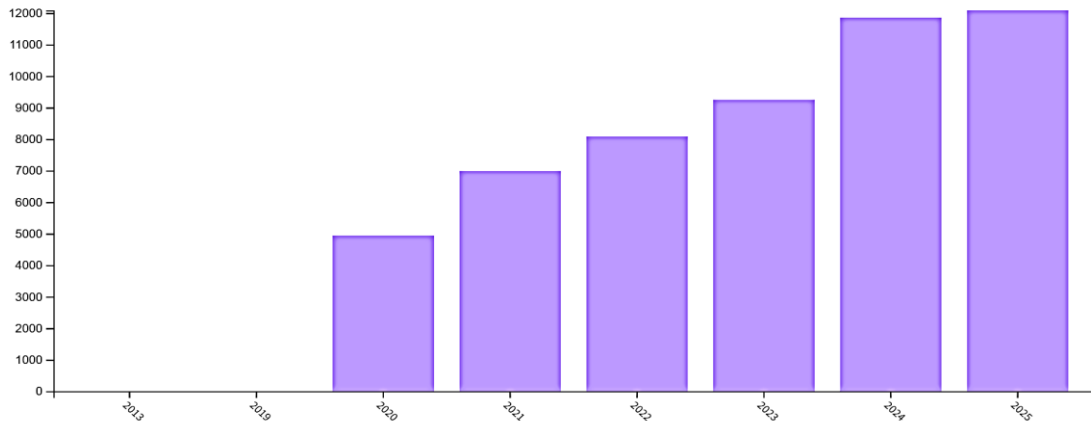
A Figura 2 apresenta a rede de relacionamento entre as principais palavras-chave identificadas nos artigos analisados, gerada pelo *software VOSviewer*. Cada nó representa uma palavra-chave, e o tamanho do círculo indica sua frequência de ocorrência nos documentos. As conexões (arestas) entre os nós evidenciam a ocorrência entre os termos, revelando os principais eixos temáticos e a interconexão entre conceitos.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Número de publicação por ano

Um dos indicadores bibliométricos escolhidos para este estudo foi o número de publicações por ano. Esse indicador refere-se à quantidade de documentos que foram acessíveis no período temporal de 2020 a 2025, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Número de publicações por ano



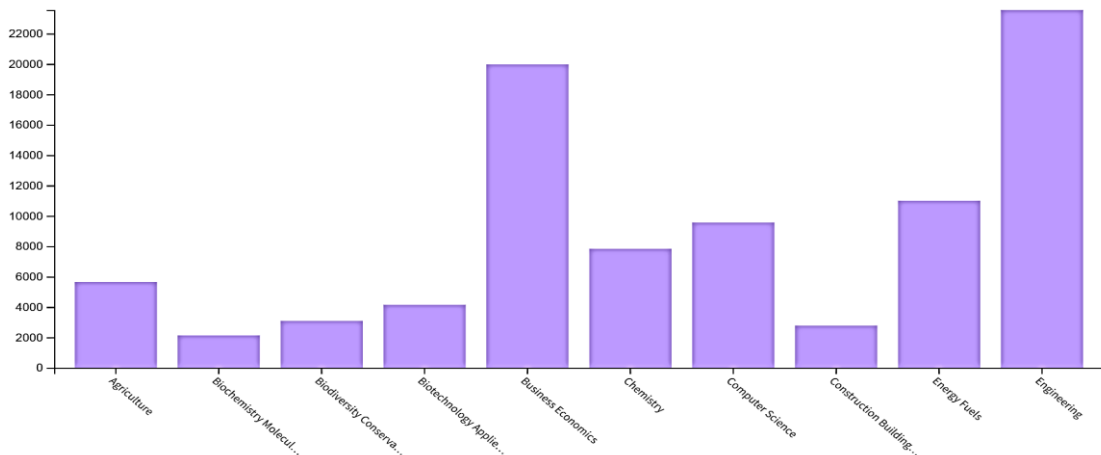
Fonte: Dados extraídos da base *Web of Science* (2025).

A Figura 3 ilustra a distribuição temporal da produção científica sobre tecnologias digitais aplicadas à logística reversa de resíduos sólidos, abrangendo o período de 2020 a 2025. O gráfico revela a evolução anual do número de publicações, um indicador crucial para identificar tendências de crescimento e o grau de amadurecimento do campo de estudo. A análise desta série temporal é essencial para correlacionar picos de interesse com marcos regulatórios, avanços tecnológicos ou pressões socioambientais por soluções de gestão sustentável.

4.2 Área de pesquisa

Outro indicador bibliométrico essencial para este estudo é a segregação da produção científica por área. Esse dado quantifica os documentos publicados em diferentes campos do conhecimento e/ou setores industriais, no período de 2020 a 2025, conforme detalhado na Figura 4. A análise dessa distribuição é crucial para identificar quais disciplinas estão mais engajadas na pesquisa sobre tecnologias digitais aplicadas à Logística Reversa.

Figura 4 - Número de documentos por área de pesquisa



Fonte: Dados extraídos da base *Web of Science* (2025).

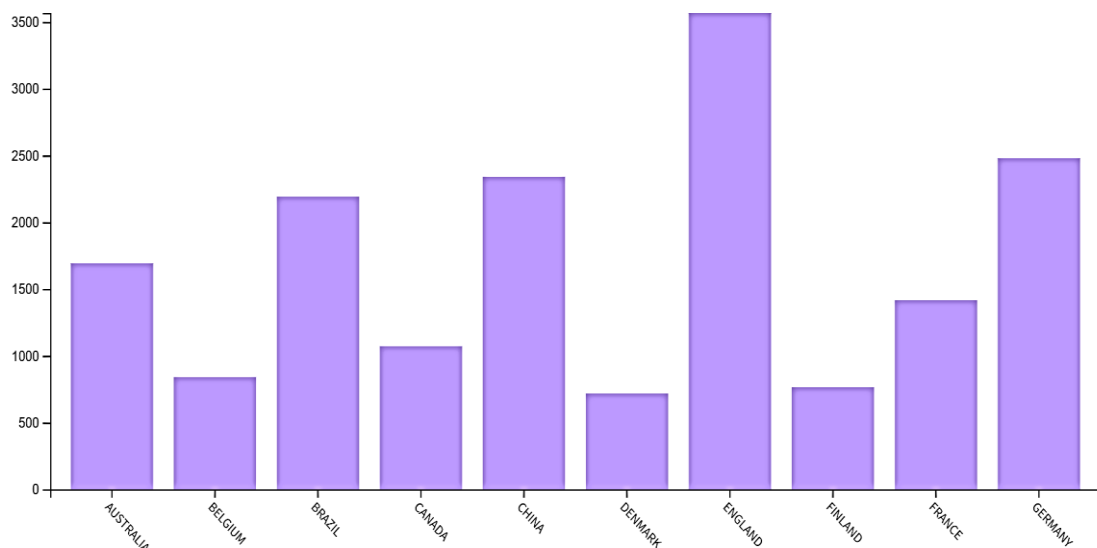


A distribuição da produção científica por áreas é apresentada na Figura 4, detalhando os campos que mais contribuíram para o tema no período analisado. O gráfico evidencia a transversalidade do assunto, com contribuições significativas da Engenharia, Ciências Ambientais, Ciência da Computação e Business Economics. Esse mapeamento permite identificar as disciplinas que estão liderando os avanços e promovendo a integração de soluções tecnológicas com as necessidades ambientais e de mercado na gestão de resíduos.

4.3 Número de publicação por país

A distribuição geográfica da produção científica foi selecionada como um indicador-chave para esta análise. Conforme mostra a Figura 5, esse dado contabiliza a quantidade de documentos publicados em cada país no intervalo de 2020 a 2025. O objetivo é mapear as nações com maior volume de pesquisa, fornecendo um panorama da contribuição internacional para os estudos sobre tecnologias digitais e logística reversa.

Figura 5 - Número de publicação por país



Fonte: Dados extraídos da base *Web of Science* (2025).

A Figura 5 demonstra a distribuição geográfica da produção científica sobre tecnologias digitais aplicadas à logística reversa de resíduos sólidos, contabilizando o número de publicações por país no período de 2020 a 2025. Este mapeamento global é crucial, pois permite identificar os centros de excelência e as nações que mais investem em pesquisa na área, com destaque para a liderança de países como Inglaterra, Alemanha, China e Brasil.

Nota-se, portanto, que a análise dessa distribuição espacial é fundamental para entender as prioridades regionais em políticas de sustentabilidade e o engajamento global na busca por soluções para os desafios da gestão de resíduos.



5. CONCLUSÕES

A análise da literatura científica confirmou o papel estratégico da Logística Reversa (LR) na transição para modelos sustentáveis de gestão de resíduos. A LR é fundamental tanto para o fechamento dos ciclos produtivos na Economia Circular (EC) quanto para a mitigação de impactos socioambientais em contextos urbanos e industriais. Contudo, a efetiva implementação da LR de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) é obstaculizada por limitações persistentes de natureza estrutural, tecnológica e social que comprometem sua consolidação.

Em contrapartida, a literatura demonstra que a adoção de tecnologias digitais emergentes, isto é, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data Analytics*, *Blockchain*, Computação em Nuvem e integração de sistemas, ou seja, possui um potencial transformador. Essas ferramentas podem tornar a gestão reversa de resíduos mais rastreável, automatizada e eficiente. Tais inovações são capazes de otimizar o tempo de coleta, reduzir custos operacionais, aumentar a transparência e subsidiar decisões mais assertivas.

Apesar desse avanço tecnológico, barreiras significativas persistem, notadamente no contexto de países em desenvolvimento. A falta de conscientização dos geradores, a baixa adesão à separação na fonte e a escassez de infraestrutura adequada configuram os principais entraves à LR de RSO. Os desafios persistentes ligados à ausência de políticas públicas integradas, deficiências financeiras e tecnológicas de municípios e pequenas empresas, e à fragmentação das responsabilidades entre *stakeholders* públicos e privados.

Constata-se, portanto, que a transformação digital na logística reversa é um caminho promissor, mas cuja concretização exige planejamento estratégico, investimentos consistentes em infraestrutura tecnológica, capacitação profissional e um modelo de governança colaborativa. A integração das tecnologias digitais, quando associada à inclusão social e ao engajamento comunitário, é o vetor capaz de superar as barreiras históricas e impulsionar a eficiência, transparência e sustentabilidade na gestão de RSU e RSO.

Portanto, considera-se que o futuro da LR está atrelado à integração entre inovação tecnológica e políticas de sustentabilidade, pautada por uma visão sistêmica que harmonize os aspectos econômicos, ambientais e sociais da gestão de resíduos. Sugere-se que a evolução das pesquisas e práticas priorize abordagens interdisciplinares e estudos empíricos, a fim de mensurar o impacto real das tecnologias digitais na redução de perdas, na valorização de materiais e na construção de cidades mais sustentáveis.

6. REFERÊNCIAS

ÁVILA, L. V. *et al.* Características das publicações sobre Empreendedorismo (Social) no *Web of Science* no período 2002-2011. **Administração Pública e Gestão Social**, Salvador, v. 6, n. 2, p. 88-100, abr./jun. 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3515/351556452002.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2025.

LEAL, A. E. F. *et al.* Aplicações de tecnologias digitais para superação de desafios da logística reversa de resíduos sólidos urbanos: uma revisão sistemática da literatura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 29, p. e20240048, 2024. Disponível em:



<https://www.scielo.br/j/esa/a/QCTFqp4DMfgdLrQLkjW9drk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2025.

OLIPP, N.; SCHWARZ, M.; WOSCHANK, M. Integrating the principles of reverse logistics into circular economy strategies: A mixed-method study of small and medium-sized enterprises. **Sustainability**, Basel, v. 17, n. 16, p. 7361, 2025. Disponível em: <https://www.webofscience.com/wos/alldb/full-record/WOS:001558375600001>. Acesso em: 30 out. 2025.

QUEVEDO-SILVA, F. *et al.* Estudo bibliométrico: orientações sobre sua aplicação. **Revista Brasileira de Marketing**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 246-262, abr./jun. 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4717/471755312008.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2025.

RODRIGUES, S. P. *et al.* A Framework for Leveraging Digital Technologies in Reverse Logistics Actions: A Systematic Literature Review. **Logistics**, Basel, v. 9, n. 2, p. 54, 2025. Disponível em: <https://www.webofscience.com/wos/alldb/full-record/WOS:001516786500001>. Acesso em: 30 out. 2025.

TEIXEIRA, V. E. G. *et al.* Barreiras à implementação da logística reversa de resíduos sólidos orgânicos na Amazônia: um estudo em cidade da região metropolitana de Belém, Pará. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 29, p. e20240024, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/CtbPBD6BRbkRbjnCkTcq6cm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2025.

VICENTE, R. **Método científico.** 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Natalio-Vicente/publication/388808690_Universidade_Tecnica_de_Angola_O_Metodo_Cientifico/links/67a72334461fb56424cddb4a/Universidade-Tecnica-de-Angola-O-Metodo-Cientifico. Acesso em: 04 nov. 2025.