

Aplicações de Inteligência Artificial em Economia Circular: Dimensões éticas, sociais e de governança

Applications of Artificial Intelligence in the Circular Economy: Ethical, social and governance dimensions

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Economía Circular: Dimensiones éticas, sociales y de gobernanza

Recebido: 28/01/2026 | Revisado: 04/02/2026 | Aceitado: 04/02/2026 | Publicado: 05/02/2026

Willian Guimarães de Carvalho Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5964-9782>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: williancostag@unifei.edu.br

Jeniffer de Nadae

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6352-8986>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: jeniffer.nadae@unifei.edu.br

Resumo

Este artigo objetiva analisar a produção científica recente que articula Inteligência Artificial (IA) e Economia Circular (EC), com foco nas dimensões ética, social e de governança. A partir de uma revisão qualitativa e exploratória da literatura, foram examinados 25 estudos publicados entre 2020 e 2025, selecionados por meio de buscas sistematizadas no *Google Acadêmico*. Os trabalhos foram classificados em quatro dimensões analíticas — técnica, social, ética e governança — conforme o eixo predominante de abordagem. Os resultados evidenciam uma forte predominância de estudos de caráter técnico e instrumental, voltados à eficiência de processos, inovação produtiva e indicadores ambientais, enquanto as dimensões sociais, éticas e de governança permanecem marginalizadas e fragmentadas. Observa-se que a IA é frequentemente tratada como ferramenta neutra de apoio à sustentabilidade, com pouca problematização sobre seus impactos distributivos, riscos éticos, vieses algorítmicos e desafios regulatórios. A ausência de estudos que integrem de forma consistente IA, economia circular e governança democrática revela uma lacuna estrutural na literatura, indicando riscos de reprodução de desigualdades e assimetrias de poder na transição para modelos circulares. Conclui-se que o avanço da economia circular apoiada por inteligência artificial exige abordagens interdisciplinares que reconheçam o caráter sociotécnico dessas tecnologias, incorporando princípios de justiça socioambiental, ética e governança responsável.

Palavras-chave: Economia circular; Inteligência artificial; Governança.

Abstract

This article aims to analyze recent scientific production that connects Artificial Intelligence (AI) and the Circular Economy (CE), focusing on the ethical, social, and governance dimensions. Based on a qualitative and exploratory literature review, 25 studies published between 2020 and 2025 were examined, selected through systematic searches on Google Scholar. The works were classified into four analytical dimensions — technical, social, ethical, and governance — according to the predominant approach adopted. The results reveal a strong predominance of studies with a technical and instrumental character, oriented toward process efficiency, productive innovation, and environmental indicators, while the social, ethical, and governance dimensions remain marginalized and fragmented. AI is often treated as a neutral tool to support sustainability, with limited problematization of its distributive impacts, ethical risks, algorithmic biases, and regulatory challenges. The lack of studies that consistently integrate AI, circular economy, and democratic governance points to a structural gap in the literature, indicating risks of reproducing inequalities and power asymmetries in the transition to circular models. It is concluded that advancing a circular economy supported by artificial intelligence requires interdisciplinary approaches that recognize the sociotechnical nature of these technologies, incorporating principles of socio-environmental justice, ethics, and responsible governance.

Keywords: Circular economy; Artificial intelligence; Governance.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo analizar la producción científica reciente que articula la Inteligencia Artificial (IA) y la Economía Circular (EC), con énfasis en las dimensiones ética, social y de gobernanza. A partir de una revisión cualitativa y exploratoria de la literatura, se examinaron 25 estudios publicados entre 2020 y 2025, seleccionados mediante búsquedas sistematizadas en Google Académico. Los trabajos se clasificaron en cuatro dimensiones analíticas—técnica, social, ética y gobernanza—según el eje predominante de abordaje. Los resultados evidencian una marcada predominancia de estudios de carácter técnico e instrumental, orientados a la eficiencia de procesos, la innovación productiva y los indicadores ambientales, mientras que las dimensiones sociales, éticas y de gobernanza permanecen marginadas y fragmentadas. Se observa que la IA se trata con frecuencia como una herramienta neutra de apoyo a la sostenibilidad, con escasa problematización de sus impactos distributivos, riesgos éticos, sesgos algorítmicos y desafíos regulatorios. La ausencia de estudios que integren de forma consistente la IA, la economía circular y la gobernanza democrática revela una laguna estructural en la literatura, lo que indica riesgos de reproducción de desigualdades y asimetrías de poder en la transición hacia modelos circulares. Se concluye que el avance de una economía circular apoyada por inteligencia artificial exige enfoques interdisciplinarios que reconozcan el carácter sociotécnico de estas tecnologías e incorporen principios de justicia socioambiental, ética y gobernanza responsable.

Palabras clave: Economía circular; Inteligencia artificial; Gobernanza.

1. Introdução

A Economia Circular (EC) tem se consolidado como um dos paradigmas mais relevantes no debate contemporâneo sobre sustentabilidade e alternativas ao modelo econômico linear de produção e consumo, historicamente fundamentado na lógica de “extrair–produzir–consumir–descartar”. Esse modelo tem se mostrado insuficiente para responder às crescentes pressões ambientais e sociais, sobretudo diante da intensificação da exploração de recursos naturais, do aumento da geração de resíduos e da ampliação das externalidades negativas que afetam ecossistemas e comunidades humanas (Mont’Alverne & Holanda, 2025; Mainardi et al., 2025).

Em contraste, a EC desloca o foco da simples eficiência produtiva para uma abordagem sistemica orientada à prevenção de resíduos, à manutenção do valor de produtos e materiais ao longo do tempo e à regeneração dos sistemas naturais. Conforme definido pela Fundação Ellen MacArthur, a EC constitui um sistema econômico projetado para eliminar resíduos e poluição desde a fase de concepção, manter produtos e materiais em uso pelo maior tempo possível e regenerar a natureza, dissociando o crescimento econômico do consumo de recursos finitos (Ellen MacArthur Foundation, 2021). Tal perspectiva se materializa por meio de estratégias como o design sustentável, a extensão da vida útil dos produtos, a reutilização, a reciclagem e a valorização de resíduos, articulando dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos (Michelin & Gruba, 2025; Aquino et al., 2023).

No mesmo contexto, a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma tecnologia digital estratégica, impulsionada pelo avanço da capacidade computacional, pela disponibilidade de grandes volumes de dados e pelo desenvolvimento de técnicas como aprendizado de máquina, *big data analytics* e automação inteligente. Tais tecnologias têm sido amplamente aplicadas em múltiplos setores, com potencial para revolucionar processos produtivos, serviços e modos de organização social (Sichman, 2021).

Quando deslocada para contextos de sustentabilidade, a inteligência artificial (IA) tem-se mostrado capaz de apoiar a otimização de cadeias de valor, a gestão de resíduos e a melhoria de processos nas iniciativas de economia circular, além de fornecer suporte à tomada de decisão em cenários complexos e dinâmicos. Estudos bibliométricos e revisões sistemáticas indicam que a IA e técnicas relacionadas (como *machine learning* e análise preditiva) têm sido aplicadas em temas centrais da EC, incluindo logística reversa, gestão de resíduos, reciclagem, reutilização e remanufatura, demonstrando o potencial de IA para impulsionar desempenho sustentável e eficiência de recursos nesses domínios. Esses trabalhos destacam que, embora

ainda em estágios iniciais, a literatura sobre IA e EC aponta para um papel crescente de tecnologias digitais como instrumentos para viabilizar indicadores de circularidade e apoiar transições industriais sustentáveis (Akter et al., 2022; Raut et al., 2025).

Entretanto, apesar do reconhecimento crescente do papel potencial da IA na promoção de práticas circulares, sua adoção não ocorre de maneira neutra ou desprovida de implicações socioambientais mais amplas. Sistemas de IA incorporam escolhas de projeto, conjuntos de dados e parâmetros algorítmicos que podem refletir vieses, reforçar desigualdades ou ampliar efeitos indesejados sobre grupos sociais e mercados de trabalho (Lanna, 2018; Qian et al., 2024).

Além disso, a literatura tem destacado preocupações éticas centrais associadas ao uso da IA incluindo a transparência e a explicabilidade dos algoritmos, a proteção de dados pessoais, a prevenção de discriminações algorítmicas e a responsabilização por decisões automatizadas. Esses desafios tornam-se ainda mais críticos quando sistemas de IA passam a influenciar processos socioeconômicos e ambientais, exigindo estruturas normativas e institucionais capazes de alinhar o desenvolvimento tecnológico a princípios de justiça social, responsabilidade e controle democrático (Floridi et al., 2018; Mittelstadt et al., 2016). Estudos que exploram a interseção entre a IA e EC apontam ainda, que a integração dessas áreas pode gerar desafios específicos, como vieses em decisões automatizadas sobre reciclagem ou alocação de recursos, impacto sobre o emprego em setores tradicionalmente menos digitalizados e dificuldades regulatórias relacionadas à governança de sistemas inteligentes em contextos de sustentabilidade (Roberts et al., 2024; Bashynska, 2025).

Apesar do avanço significativo das pesquisas sobre EC e, paralelamente, sobre IA, a literatura que articula de maneira integrada esses dois campos ainda permanece relativamente incipiente. Revisões consolidadas indicam que os estudos existentes tendem a concentrar-se em ganhos de eficiência, otimização de processos e desempenho ambiental, enquanto aspectos sociais, éticos e de governança recebem atenção limitada ou periférica. Essa lacuna dificulta uma compreensão sistêmica dos impactos da IA na transição para modelos circulares, especialmente no que se refere às implicações institucionais e sociais de longo prazo (Korhonen et al., 2018; Siqueira et al., 2023). Essa fragmentação torna evidente uma lacuna teórica e metodológica relevante: a literatura sobre EC tende a enfocar a eficiência de processos e indicadores ambientais, enquanto os estudos críticos sobre os efeitos sociais e normativos da IA com frequência permanecem dissociados das discussões sobre circularidade e inovação sustentável.

Este artigo objetiva analisar a produção científica recente que articula Inteligência Artificial (IA) e Economia Circular (EC), com foco nas dimensões ética, social e de governança. Ao adotar uma perspectiva interdisciplinar e crítica, esperamos contribuir para a construção de uma agenda de pesquisa mais abrangente, capaz de orientar práticas tecnológicas e políticas públicas que considerem não apenas a eficiência técnica, mas também os aspectos normativos e distributivos envolvidos na transição para modelos circularmente sustentáveis.

2. Metodologia

O presente estudo adota uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório, fundamentada em uma revisão de literatura, adequada para investigações cujo objetivo é compreender fenômenos emergentes, mapear campos de pesquisa e identificar padrões e lacunas teóricas (Piovesan & Temporini, 1995). A escolha por esse tipo de metodologia justifica-se pela natureza ainda incipiente e fragmentada dos estudos que integram IA e EC a partir de dimensões éticas, sociais e de governança.

A revisão de literatura foi sistemática (Snyder, 2019) de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018; Gil, 2017) em relação aos 25 (Vinte e cinco) artigos aptos para análise ou seja, que compõe o “corpus” da pesquisa e com uso de estatística descritiva simples com uso de Gráficos de coluna, classe de dados (técnica, social, governança e ética) e, valores de frequência absoluta em quantidade de artigos (Shitsuka et al., 2014) e, que foi conduzida a partir de buscas sistematizadas na plataforma

Google Acadêmico, selecionada inicialmente em função de sua ampla cobertura multidisciplinar, que inclui periódicos científicos, anais de eventos, dissertações e teses — característica relevante para temas interdisciplinares como IA, sustentabilidade e governança (Siqueira et al., 2023). Foram utilizadas combinações das seguintes palavras-chave: *economia circular, inteligência artificial, impacto social, ética e governança*.

Por meio dos critérios de inclusão, selecionaram-se inicialmente 32 estudos a partir dos critérios seguintes:

- a) publicados entre os anos de 2020 e 2025;
- b) que abordassem explicitamente a IA ou tecnologias digitais avançadas;
- c) que apresentassem alguma relação com princípios de sustentabilidade, economia circular ou práticas correlatas; e
- d) que discutissem, ainda que de forma indireta ou tangencial, aspectos éticos, sociais ou de governança.

Foram excluídos 07 trabalhos estritamente técnicos, sem qualquer referência a impactos sociais, éticos ou institucionais, bem como estudos que não apresentavam aderência mínima ao escopo temático definido — o que resultou em 25 trabalhos aptos para análise. O processo de análise envolveu, inicialmente, a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos trabalhos identificados, seguida da leitura integral dos estudos selecionados. Posteriormente, os artigos foram classificados analiticamente em quatro categorias principais — técnica, ética, social e governança — de acordo com a dimensão predominante em suas abordagens, procedimento semelhante ao adotado em revisões exploratórias voltadas à identificação de padrões temáticos (Piovesan & Temporini, 1995).

A classificação dos trabalhos analisados foi realizada a partir da identificação da dimensão predominante em cada estudo, adotando-se um critério analítico exclusivo, no qual cada publicação foi enquadrada em apenas uma categoria. Essa opção metodológica teve como objetivo garantir consistência quantitativa e comparabilidade dos resultados, evitando sobreposições entre dimensões. A categorização foi conduzida a partir da leitura dos títulos, resumos e, quando necessário, do texto completo, considerando-se o enfoque central do argumento desenvolvido pelos autores. Foram definidas quatro dimensões analíticas: (i) a dimensão técnica, que engloba estudos voltados à eficiência de processos, inovação produtiva, aplicação de ferramentas tecnológicas, indicadores ambientais e soluções operacionais associadas à sustentabilidade e à economia circular; (ii) a dimensão social, que reúne trabalhos que problematizam impactos sociais, desigualdades, trabalho, gênero, raça, saúde, organização social e efeitos da tecnologia sobre grupos sociais; (iii) a dimensão de governança, que contempla pesquisas centradas em marcos institucionais, políticas públicas, programas de integridade, regulação, governança digital e relações de poder em contextos tecnológicos; e (iv) a dimensão ética, composta por estudos que abordam explicitamente questões normativas, valores, privacidade, proteção de dados, dilemas morais e implicações éticas das tecnologias digitais. A dimensão atribuída a cada trabalho correspondeu àquela que se apresentou como eixo estruturante da análise, mesmo quando outras dimensões apareciam de forma secundária ou complementar.

A partir dessa categorização, buscou-se identificar recorrências, lacunas, convergências e desconexões entre os campos da IA e da EC, permitindo uma análise crítica sobre o estágio atual da produção científica e sobre os desafios para a construção de abordagens integradas, responsáveis e socialmente orientadas.

3. Resultados e Discussão

A análise dos 25 estudos selecionados revela que a produção científica que aborda EC, IA e sustentabilidade encontra-se marcada por assimetria conceitual e fragmentação epistemológica. Embora os temas analisados compartilhem um horizonte normativo comum, a busca por modelos de desenvolvimento mais sustentáveis, os resultados demonstram que os campos dialogam pouco entre si, operando, em grande medida, como ilhas analíticas.

Essa fragmentação reforça a crítica apresentada por Sichman (2021), segundo a qual o avanço tecnológico, quando dissociado de reflexões sociais e éticas, tende a reforçar lógicas instrumentais e tecnocráticas. No caso específico da EC apoiada por IA, os resultados indicam que o discurso da inovação sustentável frequentemente oculta disputas de poder, desigualdades sociais e lacunas de governança. Neste sentido, tal constatação reforça a hipótese central do presente estudo: a transição para modelos circulares apoiados por tecnologias inteligentes têm sido conduzida predominantemente sob uma lógica tecnicista e instrumental, com menor atenção às implicações sociais, éticas e institucionais de médio e longo prazo.

Conforme apresentado na Tabela 1, observa-se que a maior parte dos trabalhos analisados se concentra em abordagens técnicas e instrumentais da sustentabilidade e da EC, com uso pontual da inteligência artificial como ferramenta de otimização. Em contraste, estudos que problematizam de forma integrada os impactos sociais, éticos e os mecanismos de governança da IA aplicada à EC ainda são minoritários, evidenciando uma lacuna relevante na literatura.

Tabela 1 - Classificação dos trabalhos analisados quanto à dimensão predominante.

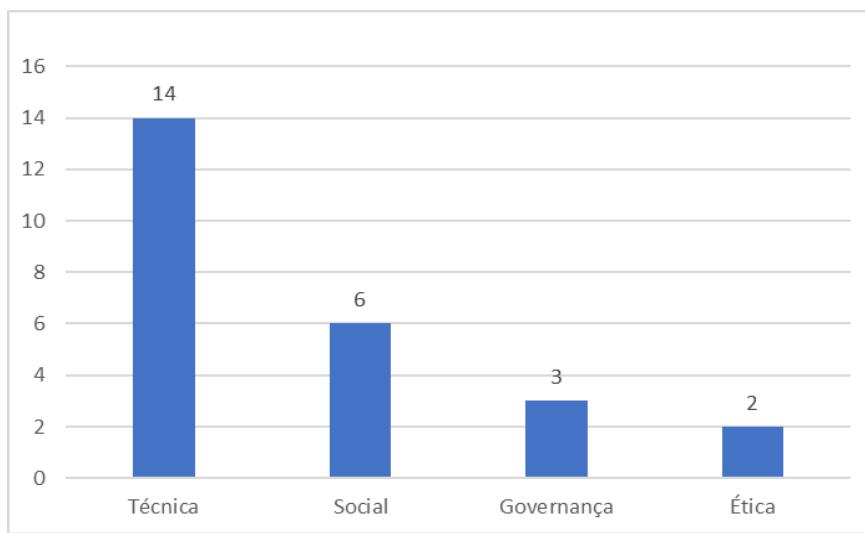
Nº	Título do trabalho	Foco principal	Dimensão predominante
1	A influência das práticas environmental, social, and governance (ESG) nos ciclos de vida dos negócios: uma revisão narrativa	ESG e sustentabilidade corporativa	Técnica
2	Cidades inteligentes e práticas sustentáveis: uma revisão bibliográfica sobre inovação e responsabilidade ambiental	Cidades inteligentes e sustentabilidade urbana	Técnica
3	Práticas de sustentabilidade e inovação sustentável no setor têxtil: uma revisão sistemática da literatura	Inovação sustentável setorial	Técnica
4	Inteligência artificial para sustentabilidade: uma revisão sistemática de literatura em sistemas de informação	IA aplicada à sustentabilidade	Técnica
5	Os impactos das práticas da logística reversa para o varejo: uma revisão da literatura	Logística reversa e economia circular	Técnica
6	Práticas de ESG na gestão de projetos da construção civil: uma revisão integrativa da literatura	ESG na construção civil	Técnica
7	A química verde aplicada à agronomia na produção de insumos agrícolas sustentáveis: uma revisão bibliográfica	Química verde e sustentabilidade agrícola	Técnica
8	Uma revisão sistemática da adoção de práticas ESG para um maior retorno financeiro na atração de investidores	ESG e desempenho financeiro	Técnica
9	A transição para a construção ecológica: tendências internacionais e perspectivas para o mercado brasileiro e norte-americano	Construção ecológica	Técnica
10	Os impactos socioeconómicos da inteligência artificial: revisão da literatura e esboço teórico	IA e impactos socioeconômicos	Social
11	Ferramentas para o planejamento organizacional: uma revisão sistemática da literatura	Planejamento e gestão organizacional	Técnica
12	Implementação de programas de integridade na administração pública: uma revisão sistemática de literatura	Integridade e governança pública	Governança
13	Raça: dimensão interseccional das vulnerabilidades digitais	Raça, tecnologia e desigualdades digitais	Social
14	Tendências, sustentabilidade e impacto ambiental dos produtos plant-based: uma revisão	Sustentabilidade e consumo alimentar	Ética
15	Análise das metodologias de pegada de carbono na aquicultura continental: uma revisão sistemática	Pegada de carbono e indicadores ambientais	Técnica
16	Informação e direito à privacidade no contexto do Big Data: uma revisão sistemática da literatura (2012–2022)	Privacidade, dados e tecnologia	Ética
17	ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA: revisão de literatura e proposta de framework metodológico em 12 passos	Métodos de análise científica	Técnica
18	Empreendedorismo e inovação: uma revisão sistemática na literatura sobre o desenvolvimento empreendedor em tempos de Covid-19	Empreendedorismo e inovação social	Social
19	Barreiras e desafios para a implantação da Indústria 4.0 – revisão de literatura	Indústria 4.0 e	Técnica

transformação digital		
20	Desenvolvimento humano feminino em prol do desempenho ambiental: uma análise sob a ótica dos valores culturais	Gênero, cultura e sustentabilidade
21	Utilização do zebra fish (<i>Danio rerio</i>) como espécie de avaliação da toxicidade de efluentes: uma revisão	Avaliação ambiental e toxicologia
22	Fundamentos da biopolítica nos estudos em geopolítica: o ciberespaço e as novas estratégias de disputas e dominação	Biopolítica, tecnologia e poder
23	O papel das plataformas digitais no fortalecimento de atitudes antidemocráticas: estudo exploratório da atuação da Meta nos ataques de oito de janeiro de 2023 em Brasília	Plataformas digitais e democracia
24	Perspectivas sobre os comuns: uma análise teórica	Bens comuns e organização social
25	Pharmaceutical care and pharmaceutical services offered in the context of public and collective health: narrative review	Serviços farmacêuticos e saúde pública

Fonte: Autores (2025).

Com base nos dados sistematizados na Tabela 1, foi elaborado um gráfico (disposto na Figura 1 a seguir) de distribuição que apresenta a classificação dos trabalhos analisados segundo a dimensão predominante. Tal visualização reforça a assimetria identificada na produção científica, indicando a predominância de abordagens técnicas em detrimento de análises voltadas às implicações sociais, éticas e de governança, o que subsidia a discussão crítica desenvolvida na sequência.

Figura 1 – Distribuição dos trabalhos analisados quanto à dimensão predominante.



Fonte: Autores (2025).

De forma geral, observa-se uma clara predominância de estudos enquadrados na dimensão técnica. Do total de trabalhos analisados, 14 estudos (56%) concentram-se majoritariamente em abordagens técnicas, voltadas à eficiência de processos, inovação produtiva, gestão organizacional, indicadores ambientais e aplicações setoriais da sustentabilidade, como nos casos da logística reversa, da construção civil, da aquicultura, da indústria 4.0 e da química verde. Esses trabalhos, em sua maioria, tratam a sustentabilidade e a economia circular sob uma lógica instrumental, orientada à otimização de recursos, redução de impactos ambientais e aumento da competitividade organizacional.

No campo específico da economia circular, os estudos identificados enfatizam práticas como logística reversa, construção ecológica, uso de indicadores ambientais e estratégias produtivas sustentáveis. No entanto, tais análises raramente

incorporam reflexões críticas sobre os efeitos sociais dessas práticas ou sobre os mecanismos institucionais necessários para sua implementação justa e transparente. Assim, a economia circular é frequentemente apresentada como uma solução técnica ou gerencial, desvinculada de disputas políticas, desigualdades sociais ou relações de poder.

A inteligência artificial, por sua vez, aparece de forma explícita em um número reduzido de trabalhos, sendo tratada predominantemente como uma tecnologia de apoio à sustentabilidade ou à transformação digital. Estudos como o de Siqueira et al. (2023) e Sichman (2021) indicam o potencial da IA para apoiar processos sustentáveis, mas também alertam para riscos associados à opacidade algorítmica, aos vieses e à concentração de poder tecnológico. Ainda assim, a maior parte das pesquisas que mencionam IA o faz de maneira instrumental, sem integrá-la de forma consistente às discussões sobre economia circular ou justiça socioambiental.

Diante desse panorama, a predominância de abordagens instrumentais tende a obscurecer os conflitos, assimetrias de poder e implicações distributivas inerentes à implementação dessas tecnologias e modelos produtivos, limitando sua capacidade de promover transformações efetivamente sustentáveis. Nesse sentido, torna-se necessário avançar para análises que compreendam a EC e a IA como fenômenos sociotécnicos, inseridos em contextos institucionais, políticos e culturais específicos, nos quais decisões tecnológicas produzem impactos diferenciados sobre atores sociais distintos. Ao reconhecer essas interdependências, abre-se espaço para uma agenda de pesquisa que incorpore perspectivas críticas, princípios de justiça socioambiental e mecanismos de governança capazes de orientar o uso da IA como ferramenta não apenas de eficiência, mas de promoção de sustentabilidade inclusiva e socialmente responsável.

As dimensões social, ética e de governança aparecem de forma menos recorrente e, sobretudo, fragmentada. Apenas 6 trabalhos (24%) têm predominância social, abordando temas como impactos socioeconômicos da inteligência artificial, desigualdades digitais, raça, gênero, empreendedorismo e bens comuns. Esses estudos oferecem contribuições relevantes ao evidenciar que os processos de inovação tecnológica e sustentabilidade não são neutros, podendo aprofundar vulnerabilidades sociais e assimetrias estruturais. No entanto, observa-se que tais análises raramente estabelecem um diálogo direto e sistemático com o EC, permanecendo frequentemente dissociadas das discussões técnico-ambientais e produtivas que dominam a literatura; tal desconexão limita o potencial crítico dessas abordagens, ao impedir que questões de relevância social possam ser incorporadas de forma transversal às estratégias e práticas de EC.

As dimensões ética e de governança revelam-se ainda mais restritas no corpus investigado. A dimensão de governança é predominante em apenas 3 trabalhos (12%), os quais abordam temas como programas de integridade na administração pública, governança institucional em contextos tecnológicos, biopolítica no ciberespaço e os impactos das plataformas digitais sobre processos democráticos. Ao enfatizarem aspectos como transparência, responsabilização e controle institucional, tais abordagens reconhecem a complexidade crescente dos sistemas digitais e seus efeitos sobre a tomada de decisão coletiva.

Entretanto, observa-se que essas análises permanecem, em grande medida, desconectadas das discussões sobre EC e das aplicações específicas da IA voltadas à sustentabilidade. A governança é tratada predominantemente em nível macro ou normativo, sem dialogar com os arranjos produtivos, os modelos de negócios circulares ou os processos sociotécnicos concretos nos quais a IA é mobilizada. Essa dissociação limita a capacidade explicativa dos estudos, ao não considerar como escolhas institucionais e regulatórias influenciam diretamente a implementação, os resultados e a distribuição dos benefícios da economia circular mediada por tecnologias digitais.

De forma ainda mais incipiente, a dimensão ética aparece como foco central em apenas 2 trabalhos (8%) do total analisado, concentrando-se em discussões sobre privacidade, proteção de dados e implicações normativas das tecnologias digitais. A baixa incidência de abordagens explicitamente éticas evidencia que, mesmo nos estudos críticos, a reflexão

normativa permanece marginal em relação às análises técnicas e gerenciais, reforçando a necessidade de incorporar princípios éticos de forma estruturante nos debates sobre inteligência artificial aplicada à economia circular.

Um dado particularmente relevante é a escassez de trabalhos que integrem, de forma simultânea e consistente, IA, EC e dimensões éticas, sociais e de governança. Nenhum dos estudos analisados articula plenamente esses três eixos, o que evidencia uma lacuna estrutural na literatura. Mesmo nos trabalhos que abordam IA e sustentabilidade, as discussões tendem a privilegiar ganhos de eficiência e inovação, relegando a segundo plano questões relacionadas à justiça social, à governança algorítmica e aos impactos distributivos das tecnologias.

Esses resultados indicam que a produção científica atual ainda se organiza de maneira compartmentalizada, reproduzindo uma separação entre abordagens técnicas e análises críticas. Tal fragmentação limita a capacidade da literatura de oferecer subsídios teóricos e empíricos para uma transição efetivamente sustentável, na qual os sistemas de IA possam contribuir para transição para o modelo circular sem reforçar desigualdades sociais ou riscos éticos. Dessa forma, reforça-se a necessidade de abordagens interdisciplinares que integrem tecnologia, sustentabilidade e governança, reconhecendo a IA não apenas como ferramenta técnica, mas como fenômeno sociotécnico atravessado por valores, interesses e disputas que assim como benefícios, possui riscos e capacidade para produzir assimetrias sociais.

Ainda, a fragmentação identificada na literatura não é apenas um problema metodológico ou de escopo temático, mas reflete uma questão epistemológica mais profunda sobre como a relação entre tecnologia e sustentabilidade tem sido concebida no campo científico. A predominância de abordagens técnicas e instrumentais sugere que a IA ainda é majoritariamente compreendida como um meio neutro de otimização de processos, dissociado das estruturas sociais, políticas e econômicas nas quais está inserida. Tal concepção, assim como exposto nos trabalhos de Roberts et al. (2024) e Bashynska (2025), limita a capacidade analítica dos estudos, pois desconsidera que sistemas de IA são produzidos, implementados e operados em contextos marcados por assimetrias de poder, interesses econômicos e disputas normativas.

No âmbito da EC, essa limitação torna-se particularmente relevante uma vez que, embora o discurso da circularidade seja frequentemente associado à sustentabilidade e à inovação, os resultados indicam que a maior parte das pesquisas adota uma abordagem funcionalista, centrada na eficiência material e energética, sem problematizar os impactos sociais das transformações produtivas propostas. Dessa forma, corre-se o risco de reproduzir uma lógica de “circularidade técnica”, na qual tecnologias avançadas, como a IA, são incorporadas aos sistemas produtivos sem questionar quem se beneficia desses processos, quem assume seus riscos e quais grupos sociais podem ser marginalizados ou excluídos.

A ausência de uma articulação consistente entre EC, IA e dimensões éticas e de governança também evidencia um desalinhamento entre os avanços tecnológicos e os marcos regulatórios e normativos. Estudos que abordam governança, privacidade, integridade institucional ou impactos democráticos das tecnologias digitais permanecem, em grande medida, desconectados das discussões sobre sustentabilidade e circularidade. Esse distanciamento sugere que a governança da IA ainda é pensada de forma setorial, sem considerar suas implicações diretas sobre cadeias produtivas, fluxos de materiais e modelos econômicos circulares.

Do ponto de vista social, a literatura analisada indica que temas como desigualdade, raça, gênero e trabalho aparecem de maneira periférica nas discussões sobre inovação sustentável. Tal lacuna é problemática, uma vez que a implementação de sistemas inteligentes em contextos produtivos e ambientais pode intensificar processos de exclusão social, precarização do trabalho e concentração de benefícios econômicos. A escassez de estudos que integrem essas dimensões reforça a necessidade de uma abordagem crítica que compreenda a IA como um fenômeno sociotécnico, cujos impactos extrapolam ganhos de eficiência e alcançam a organização social, a distribuição de recursos e o exercício da cidadania.

Nesse sentido, a interdisciplinaridade emerge não apenas como uma recomendação metodológica, mas como uma condição necessária para o avanço do campo. A integração entre estudos de tecnologia, ciências sociais, políticas públicas e sustentabilidade permitiria superar a atual compartmentalização do conhecimento, favorecendo análises mais abrangentes e socialmente responsáveis. Reconhecer a IA como parte de sistemas sociotécnicos implica considerar que suas aplicações na EC devem ser acompanhadas por mecanismos de governança transparentes, critérios éticos claros e processos participativos que envolvam múltiplos atores sociais.

Portanto, a lacuna identificada na literatura não se limita à ausência de estudos empíricos integrados, mas aponta para a necessidade de uma mudança de paradigma analítico. Avançar na compreensão da inteligência artificial aplicada à economia circular requer deslocar o foco exclusivo da eficiência técnica para incorporar questões de justiça socioambiental, responsabilidade tecnológica e governança democrática. Somente a partir dessa perspectiva será possível construir modelos de circularidade que sejam, de fato, sustentáveis não apenas do ponto de vista ambiental, mas também social e institucional.

4. Conclusão

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a produção científica que articula economia circular e inteligência artificial, com especial atenção às dimensões técnica, social, ética e de governança. A partir de uma revisão exploratória de 25 trabalhos publicados entre 2018 e 2025, foi possível mapear tendências, identificar lacunas e compreender como esses campos têm sido abordados de forma integrada (ou fragmentada) na literatura acadêmica.

Os resultados evidenciaram uma predominância expressiva da dimensão técnica, responsável por 56% dos estudos analisados, os quais se concentram principalmente em aplicações instrumentais da sustentabilidade, otimização de processos, inovação produtiva e eficiência ambiental. Em contrapartida, as dimensões social (24%), de governança (12%) e ética (8%) aparecem de forma significativamente menos frequente, revelando um desequilíbrio analítico que privilegia soluções técnicas em detrimento de reflexões críticas sobre impactos sociais, normativos e institucionais. Esse padrão sugere que a IA tem sido majoritariamente tratada como uma ferramenta neutra de apoio à EC, desconsiderando seu caráter sociotécnico e suas implicações mais amplas.

A análise também demonstrou que, mesmo nos estudos que abordam sustentabilidade e EC, há pouca problematização acerca de desigualdades sociais, relações de poder, riscos éticos e mecanismos de governança associados à adoção de sistemas inteligentes. A escassez de trabalhos que integrem simultaneamente IA, EC e dimensões éticas e de governança evidencia uma lacuna estrutural na literatura, indicando que a transição para modelos circulares pode reproduzir assimetrias existentes caso não seja acompanhada por marcos normativos e analíticos mais abrangentes.

Nesse sentido, os achados reforçam a necessidade de abordagens interdisciplinares capazes de superar a compartmentalização do conhecimento. Reconhecer a IA como um fenômeno sociotécnico implica compreender que suas aplicações na EC não são apenas questões de eficiência tecnológica, mas envolvem escolhas políticas, valores sociais e disputas institucionais. A incorporação sistemática de perspectivas sociais, éticas e de governança mostra-se, portanto, fundamental para que a economia circular apoiada por inteligência artificial contribua efetivamente para a sustentabilidade em sentido amplo.

Como perspectivas para pesquisas futuras, destaca-se a ampliação da base de dados utilizada na revisão, incorporando outras bases bibliográficas relevantes, como *Scopus*, *Web of Science* e bases especializadas por área, o que permitiria uma visão mais abrangente e comparativa da produção científica internacional. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de revisões sistemáticas ou meta-análises focadas especificamente na interseção entre IA, EC e governança, bem como estudos empíricos que investiguem casos concretos de aplicação dessas tecnologias, avaliando seus impactos sociais, éticos e

institucionais. Tais avanços poderão contribuir para a construção de modelos analíticos mais integrados e para o fortalecimento de uma agenda de pesquisa comprometida com a sustentabilidade, a justiça socioambiental e a responsabilidade tecnológica.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa.

Referências

- Akter, U. H., Noman, A., Pranto, T. H., & Haque, A. B. (2022). Machine learning and artificial intelligence in circular economy: A bibliometric analysis and systematic literature review. *Annals of Emerging Technologies in Computing*, 6(2), 13–40. <http://aetic.theiaer.org/archive/v6/v6n2/p2.html>
- Andrade, N. V. (2025). Os impactos das práticas da logística reversa para o varejo: Uma revisão da literatura. (n.d.). Monografia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 78 p. <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/7246f1c1-56ab-4328-97c7-838c831e3fb6/content>
- Assis, L. G. (2024). O papel das plataformas digitais no fortalecimento de atitudes antidemocráticas: Estudo exploratório da atuação da Meta nos ataques de 8 de janeiro de 2023 em Brasília. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo. 114 p. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/27/27164/tde-08112024-161200>
- Brunner, T., Souza, F. C. L., Santos, R. A. & Pantoja, M. J. (2024). Implementação de programas de integridade na administração pública: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista da Controladoria-Geral da União*. v. 16, nº 30. https://revista.cgu.gov.br/Revista_da_CGU/article/view/746/413
- Caixeta, V. B. (2023). Informação e direito à privacidade no contexto do Big Data: Uma revisão sistemática da literatura (2012–2022). Dissertação de mestrado – Universidade de Lisboa. 138 p. <https://www.proquest.com/openview/1db47e19d2850450c0e7d63ec12a4916>
- Celestino, M. S., Belluzzo, R. C. B., Albino, J. P. & Valente, V. C. P. N. (2024). Análise bibliométrica: Revisão de literatura e proposta de framework metodológico em 12 passos. (n.d.). ARACE – Revista Acadêmica. V. 6, nº 4. <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/2087>
- Costa, G. M., Pessoa, A. C. N., Trindade, D. F. A., Canuto, P. V. C., Nogueira Neto, J. B., Batista, A. M. & Oliveira, E. S. (2025). Cidades inteligentes e práticas sustentáveis: Uma revisão bibliográfica sobre inovação e responsabilidade ambiental. *Cadernos Cajá*, 10(1). <https://v3.cadernoscajuina.pro.br/index.php/revista/article/view/884/806>
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). Circular economy: Introduction & overview. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>.
- Falguera, F. P. S. (2022). Desenvolvimento humano feminino em prol do desempenho ambiental: Uma análise sob a ótica dos valores culturais. (n.d.). Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista. 198 p. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ed7512f6-c68e-4ac9-8d93-ebd20ea54bcc/content>
- Faveri, L. A. M., & Vieira, I. K. da C. (2025). Aplicações de inteligência artificial em sistemas de coleta inteligente de resíduos: Revisão da literatura. *Revista Brasileira de Gestão e Sustentabilidade*, 12(30), 125–136.
- Ferreira, T. L. S. & Soler, O. (2025). Pharmaceutical care and pharmaceutical services offered in the context of public and collective health: Narrative review. *Research, Society and Development*, v. 14, nº 8. <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/49406/38661>
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689–707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
- Gil, A. C. (2017). Como elaborar um projeto de pesquisas. Editora Atlas.
- Gonçalves, M. A. S. (2024). Tendências, sustentabilidade e impacto ambiental dos produtos plant-based: Uma revisão. (2024). Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Ceará. 44 p. https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/78349/3/2024_tcc_masgoncalves.pdf
- Guimarães, J. S., Mannarelli Filho, T. & Baptista, R. D. (2023). Ferramentas para o planejamento organizacional: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, nº 12. <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/3179/2006>
- Junqueira, A. H. & Botelho-Francisco, R. (2022). Raça: Dimensão interseccional das vulnerabilidades digitais. *Revista Contemporânea*, 19(3). <https://www.researchgate.net/publication/360374685>
- Kerber, C. (2025). Perspectivas sobre os comuns: Uma análise teórica. (n.d.). Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. 174 p. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/265026/PSOP0778-D.pdf>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Lanna, A. B. (2018). Os impactos socioeconómicos da inteligência artificial: Revisão da literatura e esboço teórico. *Contextura*, nº 12. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistacontextura/article/view/3850/pdf>
- Leichtweis, J., Welter, N., Vieira, Y., Silvestri, S., Classen, B., & Carissimi, E. (2022) Utilização do zebrafish (*Danio rerio*) como espécie de avaliação da toxicidade de efluentes: Uma revisão. (n.d.). Meio ambiente, sustentabilidade e tecnologia. v. 10. <https://www.poisson.com.br/livros/ambiente/mst/volume10/MST10.pdf>

Mainardi, F. H. B., Mendes, I., da Silva, S. D., Marsoli, G. F., de Oliveira, E. A., & Tagliaferro, E. R. (2025). A economia circular como estratégia para o desenvolvimento sustentável no Brasil. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 11(6). <https://doi.org/10.51891/rease.v11i6.19876>

Maraschin, A. A., Avila, L. V., Kraetzig, E. R. S., Paço, A. & Rosa, C. B. (2025). Práticas de sustentabilidade e inovação sustentável no setor têxtil: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista Visão*, v. 14, nº 1. <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/visao/article/view/3733/1796>

Mira, A. B. & Mira, A. B. (2025). A química verde aplicada à agronomia na produção de insumos agrícolas sustentáveis: Uma revisão bibliográfica. *Revista Multidisciplinar*, v. 2, nº 1. <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/view/3451>

Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2), 1–21. <https://doi.org/10.1177/2053951716679679>

Mont’Alverne, T. C. F., & Holanda, J. R. (2025). A economia circular e sua relação com a política nacional de resíduos sólidos: Inovação ou risco de reciclagem das políticas que ficaram no papel. *Veredas do Direito*, 22. <https://doi.org/10.18623/rvd.v22.2800>

Peixoto, D. T., Almeida Filho, J. A. S. & Farias, V. I. B. (2021). Barreiras e desafios para a implantação da Indústria 4.0: Revisão de literatura. *Gestão da Produção em Foco*, v. 46. p 68-176.

Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free ebook]. Santa Maria. Editora da UFSM.

Qian, Y., Siau, K. L., & Nah, F. F. (2024). Societal impacts of artificial intelligence: Ethical, legal, and governance issues. *Societal Impacts*, 3, 100040. <https://doi.org/10.1016/j.socimp.2024.100040>

Rangel, R. R. (2024). A influência das práticas environmental, social, and governance (ESG) nos ciclos de vida dos negócios: Uma revisão narrativa. *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, v. 5, nº 6. <https://recima21.com.br/recima21/article/view/5382/3706>

Raut, S., Hossain, N. U. I., Kouhizadeh, M., & Fazio, S. A. (2025). Application of artificial intelligence in circular economy: A critical analysis of the current research. *Sustainable Futures*, 100784. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.100784>

Rivatto, N. S. (2024). Práticas de ESG na gestão de projetos da construção civil: Uma revisão integrativa da literatura. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina. 68 p. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/254299>

Rohde, F., Wagner, J., Meyer, A., Reinhard, P., Voss, M., Petschow, U., & Mollen, A. (2023). Broadening the perspective for sustainable AI: Sustainability criteria and indicators for artificial intelligence systems. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.13686>

Santos, L. S. & Moreira, M. A. A. P. (2024). Uma revisão sistemática da adoção de práticas ESG para um maior retorno financeiro na atração de investidores. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual do Piauí. 24 p. <https://sistemas2.uespi.br/bitstream/tede/2314/2/Artigo%20Completo.pdf>

Shitsuka, R. et al. (2014). Matemática fundamental para tecnologia. (2ed). Editora Érica.

Sichman, J. S. (2021). Inteligência artificial e sociedade: Avanços e riscos. *Estudos Avançados*, 35(101). <https://www.scielo.br/j/ea/a/c4sqqrthGMS3ngdBhGWtKhh>

Siqueira, B. L. (2025). Fundamentos da biopolítica nos estudos em geopolítica: O ciberespaço e as novas estratégias de disputas e dominação. Tese de doutorado - Universidade Federal de Uberlândia. 203 p. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/46161/1/Fundamentosdabiopolitica.pdf>

Siqueira, M., dos Santos, V. M., & Diniz, E. H. (2023). Inteligência artificial para sustentabilidade: Uma revisão sistemática de literatura em sistemas de informação. In Proceedings of the Twenty-Ninth Americas Conference on Information Systems (AMCIS). <https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1040&context=amcis2023>

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, Elsevier. 104(C), 333-9. Doi: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.

Souza Junior, J. R. G. de. (2022). A transição para a construção ecológica: Tendências internacionais e perspectivas para o mercado brasileiro e norte-americano. *Lumen et Vitrus*, v. 12, nº 30. <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/TEC10>

Souza, M. P. G. (2023). Empreendedorismo e inovação: Uma revisão sistemática da literatura sobre o desenvolvimento empreendedor em tempos de Covid-19. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Amazonas. 60 p. https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6748/9/TCC_MikelePeninaGranjeirodeSouza.pdf

Streit, S. A. F. (2023). Análise das metodologias de pegada de carbono na aquicultura continental: Uma revisão sistemática. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 81p. <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/276270/001200396.pdf>