

MAPEANDO A INTERSEÇÃO ENTRE ESG E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: evidências bibliométricas e perspectivas futuras

MAPPING THE INTERSECTION BETWEEN ESG AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: bibliometric evidence and future perspectives

Graziela Luiz Franco Martinez



Doutora em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) e mestre em Teoria Econômica pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Professora do Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Desenvolve pesquisas nas áreas de Economia, Ciências Ambientais e Sustentabilidade, com ênfase na aplicação de Inteligência Artificial, modelos preditivos e análise de dados às questões ambientais e às métricas de sustentabilidade e desempenho ESG.

E-mail: grazielafranco@unir.br

Michel Ângelo Constantino



Doutor em Economia pela Universidade Católica de Brasília (UCB) e mestre em Desenvolvimento Local pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Professor Titular e Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da UCDB, onde atua nos Programas de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária e em Desenvolvimento Local. Pesquisador nas áreas de Economia, Econometria, Políticas Públicas e Ciência de Dados, com ênfase em modelagem preditiva, sustentabilidade e desenvolvimento regional. Líder do Grupo de Pesquisa CNPq Science With R e Head do S-Inova Data Lab – Laboratório de Dados e Bioeconomia da UCDB. Integra o Academic Board do Journal of Cleaner Production (Elsevier) e atua como editor associado de periódicos científicos. É pesquisador associado e pós-doutorando em Políticas Públicas na FGV/EPPG. Premiado pela FUNDECT como melhor pesquisador na área de Economia do Setor Público e Inovação de Mato Grosso do Sul e classificado entre os 100

cientistas brasileiros da área de Economia no AD Scientific Index.

E-mail: michel@ucdb.br



ACESSO ABERTO

Copyright: Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.



Conflito de interesses: Os autores declaram que não há conflito de interesses.

Financiamento: Não há

Declaração de Disponibilidade dos dados: Todos os dados relevantes estão disponíveis neste artigo.

Submetido em: 17/04/2026.

Aceito em: 10/09/2026.

Publicado em: 10/09/2026.

Como citar este artigo:

MARTINEZ, Graziela Luiz Franco; CONSTANTINO, Michel Ângelo. Mapeando a interseção entre esg e inteligência artificial: evidências bibliométricas e perspectivas futuras. **Revista Alomorfia**, Presidente Prudente, v. 10, e.2026002, p. 1-33, 2026. DOI: xxx. ISBN 2594-5637

RESUMO

A integração entre Inteligência Artificial (IA) e práticas de Environmental, Social and Governance (ESG) tem ganhado destaque na ciência global como resposta à crescente demanda por métricas de sustentabilidade mais robustas, comparáveis e orientadas por dados. Este estudo investiga a evolução da produção

científica sobre a interseção entre ESG e IA, utilizando análise bibliométrica aplicada às bases Web of Science e Scopus, no período de 2014 a 2025. A pesquisa resultou em um corpus de 918 artigos, analisados por meio do software R, pacote Bibliometrix a partir da interface Biblioshiny, permitindo identificar padrões de publicação, redes de colaboração, núcleos temáticos e evolução histórica de palavras-chave. Os resultados evidenciam características como crescimento exponencial da literatura a partir de 2020 e produção científica concentrada geograficamente em polos como China, Coreia do Sul, Estados Unidos e Reino Unido. No nível temático, a literatura se estrutura em dois grandes eixos: i) a dimensão corporativa e financeira do ESG; e ii) a dimensão tecnológica. O mapa temático revelou ainda a emergência de frentes ligadas à digitalização, como blockchain e processamento de linguagem natural, com potencial para ampliar a transparência e rastreabilidade das métricas ESG. Conclui-se que a bibliometria fornece uma base estratégica para mapear lacunas e orientar agendas futuras, tendo seu alcance amplificado pelo uso da IA, resultando na construção de métricas ESG mais inclusivas, transparentes e alinhadas às transformações digitais da sustentabilidade contemporânea.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, ESG, Sustentabilidade, Bibliometria, Ciência interdisciplinar.

ABSTRACT

The integration of Artificial Intelligence (AI) and Environmental, Social, and Governance (ESG) practices has gained prominence in global science as a response to the growing demand for more robust, comparable, and data-driven sustainability metrics. This study investigates the evolution of scientific output on the intersection between ESG

and AI through a bibliometric analysis of the Web of Science and Scopus databases from 2014 to 2025. The research resulted in a corpus of 918 articles, analyzed using R (Bibliometrix package via the Biblioshiny interface), enabling the identification of publication patterns, collaboration networks, thematic clusters, and the historical evolution of keywords. The results show an exponential growth of the literature from 2020 onward, driven by the intensification of the international regulatory agenda on sustainability and the increasing maturity of AI applications in predictive modeling. Scientific production is geographically concentrated in hubs such as China, South Korea, the United States, and the United Kingdom. At the thematic level, the literature is structured around two major axes: (i) the corporate and financial dimension of ESG, focused on performance, governance, and social responsibility; and (ii) the technological dimension, encompassing AI, machine learning, and big data applied to sustainable development. The thematic map also revealed the emergence of fronts linked to digitalization, such as blockchain and natural language processing, which have the potential to enhance transparency and traceability in ESG metrics. The study concludes that bibliometrics provides a strategic basis for mapping gaps and guiding future agendas, which should balance standardization and contextualization, technological innovation and socio-environmental justice. In this way, AI may consolidate itself as a driver for building more inclusive, transparent, and digitally aligned ESG metrics within contemporary sustainability.

Keywords: Artificial Intelligence; ESG; Sustainability; Bibliometrics; Interdisciplinary science.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as discussões em torno da sustentabilidade corporativa e da incorporação de critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) ganharam crescente centralidade no debate acadêmico e nas práticas organizacionais. Paralelamente, o avanço acelerado das tecnologias de Inteligência Artificial (IA) tem ampliado as possibilidades de análise, monitoramento e previsão de fenômenos complexos, incluindo aqueles relacionados à sustentabilidade e à gestão de riscos socioambientais. A convergência entre esses dois campos tem despertado crescente interesse da comunidade científica, especialmente pelo potencial da IA para aprimorar a mensuração, o monitoramento e a avaliação do desempenho ESG, tornando as análises mais robustas, comparáveis e orientadas por evidências. No entanto, apesar do aumento expressivo da produção científica recente, a literatura ainda se apresenta dispersa em diferentes áreas do conhecimento, dificultando a compreensão integrada de suas principais tendências, atores e direções de pesquisa.

Diante desse cenário da complexidade do campo em que se inserem o ESG e a IA, identificou-se a necessidade por metodologias que permitam não apenas mapear avanços pontuais, mas também compreender dinâmicas de colaboração científica, tendências temáticas e lacunas estruturais da produção acadêmica. E, buscando atender essa lacuna, o presente artigo tem como objetivo analisar a evolução e o estado da arte das pesquisas que tratam da interseção entre ESG e IA, identificando suas principais tendências, colaborações científicas, núcleos temáticos e lacunas persistentes. Busca-se, assim, compreender em que medida a produção acadêmica tem avançado na direção de integrar métricas ESG a modelos preditivos baseados em IA, e quais caminhos se abrem para o fortalecimento desse campo interdisciplinar.

Para tanto, a análise bibliométrica se apresenta como ferramenta metodológica robusta para examinar a evolução do conhecimento, uma vez que permite identificar padrões de publicação, redes de coautoria e núcleos temáticos emergentes (Aria; Cuccurullo, 2017). Tal abordagem é particularmente relevante quando aplicada a domínios interdisciplinares e em rápida expansão, como é o caso da integração entre ESG e IA, em que a dispersão conceitual e metodológica pode dificultar a consolidação de uma base teórica comum.

De forma geral, a relevância desta investigação reside na possibilidade de oferecer

uma visão panorâmica e crítica da literatura existente, contribuindo para a consolidação de uma agenda científica que ultrapasse a atual fragmentação e que possibilite a construção de métricas ESG mais consistentes, prospectivas e alinhadas aos desafios ambientais e sociais contemporâneos.

Para alcançar esses objetivos, a análise bibliométrica foi estruturada de modo a abarcar os seguintes aspectos: i) a evolução temporal das publicações e citações; ii) a identificação dos principais autores, instituições e países que compõem as redes de colaboração internacional; iii) a delimitação de clusters temáticos e mapas de densidade que evidenciam os focos de pesquisa predominantes; e iv) a análise da evolução histórica das palavras-chave, sinalizando tendências emergentes.

Assim, a partir dessas considerações, torna-se fundamental compreender como a literatura científica tem abordado a interface entre IA e métricas ESG, bem como identificar os principais avanços, convergências conceituais e lacunas que ainda caracterizam esse campo emergente. Nesse sentido, o presente estudo estrutura-se a partir de uma análise bibliométrica da produção científica internacional, buscando oferecer uma visão sistematizada da evolução das pesquisas, das redes de colaboração e das tendências temáticas que moldam esse domínio interdisciplinar. Para sustentar essa investigação, torna-se inicialmente necessário discutir os fundamentos conceituais que estruturam o campo de estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito de ESG consolidou-se, nas últimas duas décadas, como referência global para a avaliação da sustentabilidade e da responsabilidade corporativa em organizações públicas e privadas. Originalmente difundido no âmbito do mercado financeiro internacional, o ESG evoluiu para além de um conjunto de critérios de investimento, passando a orientar práticas empresariais, políticas públicas e métricas científicas que buscam conciliar desempenho econômico com responsabilidade socioambiental (Eccles; Ioannou; Serafeim, 2014; Kotsantonis; Pinney; Serafeim, 2016). Nesse contexto, a governança responsável e a integração de fatores ambientais e sociais tornaram-se requisitos centrais para a legitimidade das empresas e instituições perante a sociedade e investidores, reforçando o ESG como linguagem comum de transparência, comparabilidade e *accountability* em escala global.

Nos últimos anos, as partes interessadas, incluindo investidores, consumidores e órgãos reguladores, têm exigido cada vez mais que as empresas adotem práticas alinhadas aos princípios ESG. Essa mudança é impulsionada pelo entendimento de que o sucesso comercial a longo prazo está interligado à saúde do planeta e ao bem-estar da sociedade. Dessa forma, o ESG serve como uma estrutura para avaliar como as organizações gerenciam riscos e oportunidades relacionados à sustentabilidade ambiental, justiça social e governança ética.

Globalmente, os critérios ESG estão se tornando parte integrante das estratégias de investimento, com investidores buscando alocar capital para empresas que demonstram um compromisso com práticas sustentáveis (Friede; Busch; Bassen, 2015). Essa tendência levou à integração de fatores ESG nos processos de análise financeira e tomada de decisão, incentivando as empresas a melhorar seu desempenho de sustentabilidade e suas estruturas de governança corporativa.

Além disso, de acordo com Dwivedi *et al.* (2021) com o surgimento de estruturas e acordos internacionais, como o Acordo de Paris sobre mudanças climáticas e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, solidificou ainda mais o ESG como referência em responsabilidade corporativa. As organizações são cada vez mais responsabilizadas por seu impacto nas mudanças climáticas, nos direitos humanos e no engajamento da comunidade, reforçando a noção de que as empresas devem contribuir positivamente para a sociedade e o ambiente em que operam.

Ao mesmo tempo, a crescente complexidade dos desafios ambientais e sociais contemporâneos, notadamente aqueles relacionados às mudanças climáticas, escassez de recursos naturais e desigualdades socioeconômicas, tem ampliado a demanda por ferramentas analíticas capazes de lidar com grandes volumes de dados, cenários incertos e sistemas interdependentes. É nesse ponto que a Inteligência Artificial (IA) emerge como recurso estratégico, uma vez que seus modelos de análise preditiva e processamento de informações oferecem novas possibilidades para aprimorar tanto a compreensão das dinâmicas ambientais quanto a construção de indicadores robustos de desempenho ESG (George *et al.*, 2016).

A integração da IA às práticas ESG está remodelando o cenário científico global ao aprimorar a sustentabilidade corporativa, as estratégias de investimento e a governança. A

tecnologia de IA desempenha um papel fundamental no avanço do ESG ao facilitar o processamento eficiente de dados, a modelagem preditiva e a avaliação de riscos, levando, em última análise, à tomada de decisões orientada por dados e ao desenvolvimento sustentável (Minz; Khattar, 2024; Xiao; Xiao, 2025).

Um dos impactos significativos da IA está no investimento em ESG, em que ela aprimora a gestão de portfólios ao aproveitar a análise avançada de dados e os algoritmos de Machine Learning. Isso permite que os investidores analisem extensos conjuntos de dados relacionados a ESG, extraiam percepções acionáveis e identifiquem oportunidades de investimento alinhadas aos objetivos de sustentabilidade. A análise de ESG orientada por IA também permite que os investidores criem carteiras de investimento éticas e sustentáveis, ajustando-as dinamicamente em resposta às mudanças nas condições do mercado e às tendências de sustentabilidade (Adeoye *et al.*, 2024).

Além disso, a IA contribui para melhorar o desempenho de ESG nas empresas, aprimorando a governança corporativa, a proteção ambiental e a responsabilidade social. Ela atua como mediadora na conformidade corporativa, melhorando, assim, os controles internos e os ambientes de informação, o que aumenta o desempenho geral de ESG (Chen; Zhang, 2024). Cita-se ainda que a integração da IA às práticas de ESG promove a transparência, a prestação de contas e o envolvimento das partes interessadas no ecossistema de investimentos, posicionando os investidores para capitalizar as tendências emergentes do mercado e as mudanças nas preferências dos consumidores (Adeoye *et al.*, 2024).

No entanto, a adoção da IA em ESG não está isenta de desafios. Considerações éticas, barreiras regulatórias e questões tecnológicas podem dificultar a integração, exigindo estruturas estratégicas para superar esses obstáculos (Oyewole *et al.*, 2024). A implementação de tecnologias digitais juntamente com a IA, como processamento de linguagem natural e blockchain, é fundamental para o avanço da qualidade dos relatórios de ESG, abordando os desafios relacionados à padronização, consistência e qualidade dos dados (Chen, 2024).

Globalmente, o papel da IA no ESG é evidente, principalmente na condução de iniciativas de desenvolvimento sustentável, como as observadas na China com a política AI Pilot, que melhorou as cadeias de suprimentos corporativas e o desempenho de ESG (Lin; Zhu, 2024). De modo geral, a convergência das práticas de IA e ESG representa uma colaboração

transformadora que aprimora os esforços de sustentabilidade e apoia a criação de ambientes de negócios transparentes e responsáveis.

Ainda assim, apesar do avanço progressivo das pesquisas em IA e do fortalecimento do ESG como referência normativa internacional, observa-se ainda uma fragmentação significativa entre esses dois campos. A literatura aponta que a aplicação da IA em estudos ambientais tem se concentrado sobretudo em modelagem climática, previsão de impactos e otimização de processos produtivos (Rolnick *et al.*, 2019; Haunschild; Bornmann; Marx, 2016), enquanto as pesquisas sobre ESG permanecem voltadas, em grande medida, à padronização de indicadores, *disclosure* corporativo e avaliação de desempenho sustentável (Friede; Busch; Bassen, 2015).

Essa dissociação evidencia uma lacuna: a ausência de investigações que integrem modelos preditivos de IA à formulação de métricas ESG, de modo a conectar previsões ambientais quantitativas com frameworks de mensuração socioambiental e de governança. Tal limitação compromete tanto a capacidade de as empresas se adequarem a exigências regulatórias emergentes quanto a elaboração de políticas públicas baseadas em evidências, além de restringir a comparabilidade internacional dos relatórios ESG. Portanto, superar essa fragmentação representa um passo necessário para consolidar métricas ESG mais robustas, prospectivas e alinhadas às transformações digitais que moldam a sustentabilidade contemporânea.

3. MÉTODO DA PESQUISA: uma perspectiva bibliométrica

A presente pesquisa adota uma abordagem mista, combinando a análise quantitativa a partir da análise bibliométrica e a abordagem quantitativa com uma revisão qualitativa da literatura. Esse delineamento foi escolhido a fim de proporcionar, de um lado, uma visão abrangente da produção científica sobre a integração entre IA e práticas ESG, e, de outro, uma interpretação crítica capaz de aprofundar os insights obtidos a partir dos resultados quantitativos.

A análise bibliométrica é um campo fundamental da ciência da informação que quantitativamente estuda materiais bibliográficos, oferecendo insights valiosos sobre padrões, tendências e impactos dentro de uma área específica de pesquisa. Ela utiliza métodos estatísticos para examinar dados de citações e publicar padrões em literatura

científica. Um dos seus objetivos principais é mapear o desenvolvimento científico e avaliar o impacto da pesquisa (Merigó; Yang, 2016).

Para essa pesquisa a coleta dos dados e a análise bibliométrica foram realizadas em 23 de setembro de 2025, e utilizou-se duas das principais bases de indexação científica: Web of Science (WoS) e Scopus. Essas plataformas foram selecionadas por sua ampla cobertura multidisciplinar e pela relevância na área de gestão, sustentabilidade e ciência da computação, garantindo maior robustez ao corpus analisado.

Para ambas as bases utilizou-se a mesma chave de busca booleana composta por palavras-chave que resultassem em artigos que refletissem a busca principal desta pesquisa que é entender se já existe na ciência a integração das práticas e métricas de ESG com uso da Inteligência Artificial, e que fosse capaz de responder as principais indagações dessa pesquisa, a saber:

- 1) Como a pesquisa acadêmica sobre ESG e IA tem evoluído nos estudos recentes?
- 2) Quais são as tendências significativas nos volumes de publicação e padrões de citação identificados por meio da análise bibliométrica e quem são os principais colaboradores no campo do ESG e da IA?
- 3) Quais são as contribuições e lacunas na literatura existente sobre ESG e IA na ciência e como essas lacunas podem influenciar futuras direções de pesquisa?

A chave de busca foi composta por ("Artificial Intelligence" OR AI) AND (ESG OR "Environmental, Social, Governance"), e foram consideradas publicações que contivessem esses termos no título, resumo ou palavras-chave.

Aplicou-se o filtro inicial de período para os últimos 10 anos por dois motivos: 1) o objetivo de focar na literatura mais recente e buscar capturar os desenvolvimentos e tendências recentes no campo; 2) após os primeiros resultados já foi possível perceber que se trata de um tema muito atual por não possuir trabalhos expressivos, quantitativamente falando, nos períodos anteriores. A evolução histórica do tema se dá nos últimos 10 anos.

Após avaliar os resultados da busca em ambas as bases, identificou-se a necessidade de se aplicar mais um filtro quanto as áreas da pesquisa. Como ESG também pode significar "Gastroplastia Endoscópica em Sleeve", o termo aparece em vários trabalhos da área da saúde e, assim, para evitar que esses trabalhos fossem computados e comprometessem de alguma forma os resultados, foram excluídas todas as áreas da pesquisa relacionadas às ciências da

saúde. A terceira etapa foi refinar os dados excluindo livros, capítulos de livros e documentos de errata (correção), sendo considerados nesta seleção apenas os artigos publicados em periódicos acadêmicos e publicados em anais de eventos científicos indexados na base de dados. Sendo que, para tanto, os resultados foram refinados pelo tipo de documento sendo considerados "Article or proceedings paper" e excluindo os documentos do tipo "early access".

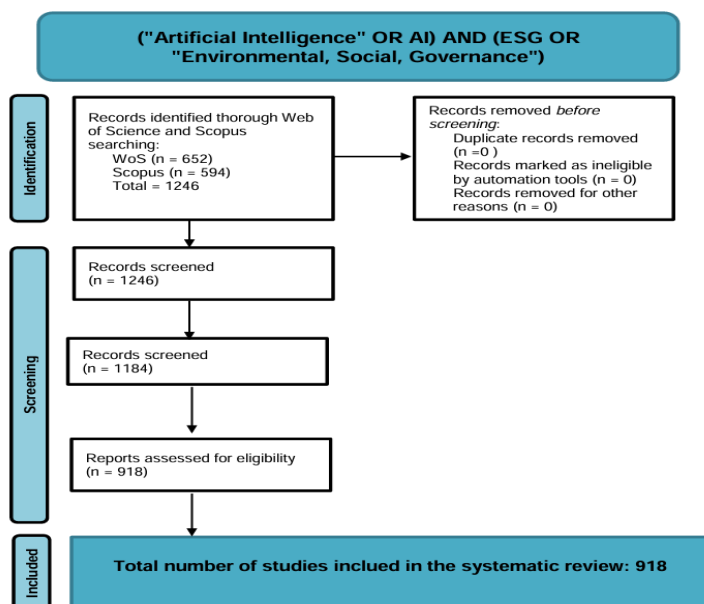
A busca inicial gerou um conjunto de dados de 652 arquivos na WoS e 594 na SCOPUS (Total 1246 arquivos). Após a aplicação dos filtros tem-se 608 artigos da WoS e 576 na Scopus, totalizando 1184 no somatório das duas bases. Para a junção das bases e exclusão dos arquivos duplicados utilizou-se o R Studio e obteve-se a base de dados final composta por 918 documentos.

A compilação dos dados, o mapeamento das redes, análise de coocorrência de palavras-chave, formação de clusters temáticos e a visualização das principais tendências com base nos tópicos existentes foram realizados por meio do software R, pacote Bibliometrix a partir da interface Biblioshiny (Aria; Cucurullo, 2017). Alguns desses parâmetros foram apresentados como tabelas, e alguns foram apresentados como figuras, enquanto outros foram apresentados como mapa de visualização.

Essa etapa teve como finalidade específica identificar padrões quantitativos e mapear o estado da arte sobre IA e ESG no âmbito global. Complementarmente, foi realizada uma revisão qualitativa da literatura a partir da leitura dos artigos mais relevantes identificados na análise bibliométrica (considerando o número de citações). Essa etapa teve por objetivo aprofundar a compreensão dos resultados quantitativos, permitindo identificar lacunas teóricas, avanços metodológicos na integração entre IA e ESG, abordagens emergentes e tendências de pesquisa, e implicações práticas para a ciência e para a gestão corporativa.

Utilizou-se também as estipulações do protocolo PRISMA, customizado para investigações bibliométricas, garantindo transparência e reprodutibilidade em cada fase. A Figura 1 ilustra a estrutura organizacional que encapsula essa trajetória metodológica, delineando claramente as fases da pesquisa, desde a formulação da investigação até a análise conclusiva dos dados.

Figura 1: Estrutura PRISMA para revisão sistemática da literatura.



Fonte: elaboração dos autores.

A partir dos procedimentos metodológicos delineados — que estruturaram a coleta, o tratamento e a organização dos dados — torna-se possível avançar para a etapa de análise dos resultados. Esta seção examina de forma sistemática os padrões identificados, destacando tendências, relações e evidências empíricas que emergem do corpus investigado.

4. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

O Quadro 1 resume as principais descobertas a partir da base de dados e mostra uma análise de publicações acadêmicas sobre a integração entre ESG e IA entre 2014 e 2025, com taxa de crescimento de 69%. A análise da totalidade de artigos encontrados de 321 periódicos revela uma produção com crescimento significativo, porém com uma taxa média de citação ainda baixa. Esses dados sugerem um esforço de pesquisa crescente, consistente e colaborativo neste campo nos últimos 10 anos.

Quadro 1: Informações principais acerca dos dados da pesquisa na WoS e Scopus.

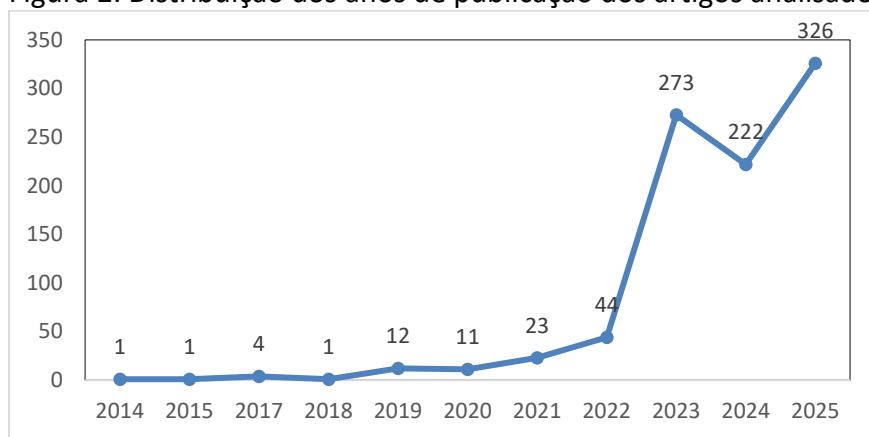
Descrição	Resultados
Período analisado	2014:2025
Fontes	321
Documentos (total de publicações)	918
Taxa de crescimento anual	69%
Média de citações por documento	5,05

Palavras-chave Plus (ID)	2177
Palavras-chave do autor (DE)	3913
Autores	3389
Documentos com um único autor	43
Coautores por documento	5,35
Coautoria internacional %	16,01

Fonte: Dados da Pesquisa

Quanto ao número de publicações, a Figura 2 evidencia a evolução temporal das publicações relacionadas à integração entre IA e ESG no período de 2014 a 2025. Nota-se que até 2018 a produção se manteve incipiente, com valores próximos a zero, sugerindo que a associação entre esses dois campos era praticamente inexplorada na literatura científica.

Figura 2: Distribuição dos anos de publicação dos artigos analisados (n = 918).



Fonte: dados da pesquisa.

No período de 2019 a 2021, observa-se um pequeno aumento no número de publicações, porém ainda discreto e constante. A partir de 2021 já se observa uma inflexão significativa, com crescimento exponencial da produção e um pico em 2023, ultrapassando 250 publicações. Essa aceleração pode ser atribuída à crescente relevância do ESG nas agendas regulatórias internacionais — como a adoção dos padrões da *Task Force on Climate-related Financial Disclosures* (TCFD) e a criação do *International Sustainability Standards Board* (ISSB) — combinada com os avanços da IA em aplicações ambientais e de governança (Dwivedi *et al.*, 2021). Esse aumento recente das publicações indica que a integração entre IA e ESG se encontra em estágio de emergência e consolidação, atraindo o interesse de múltiplas áreas do conhecimento.

Paralelo a essa análise, tem-se a média de citações por artigo por ano. Observou-se

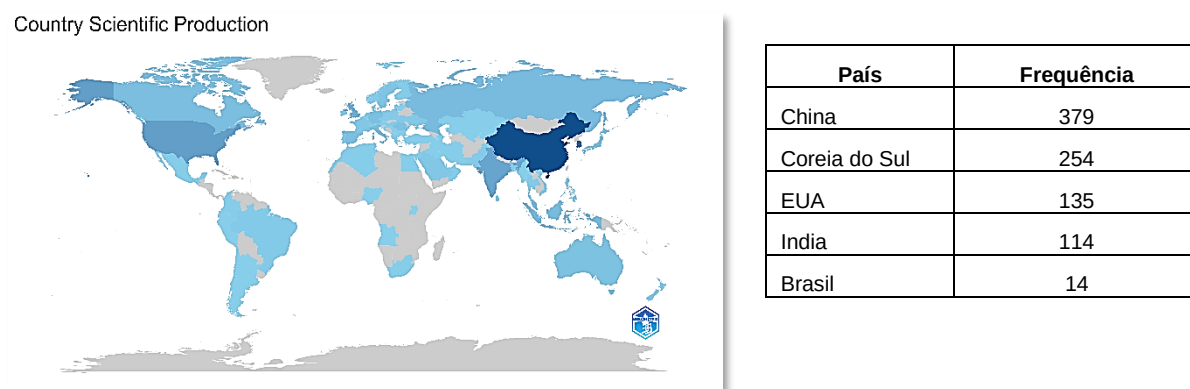
que a partir de 2019 há um aumento expressivo, com um pico em 2021, quando a média ultrapassa 4 citações por artigo. Esse resultado indica que as publicações pioneiras no período inicial do crescimento tiveram grande impacto, funcionando como artigos fundacionais do campo.

A partir de 2022 a média de citações declina progressivamente, chegando a menos de 1 em 2025, esse comportamento pode ser explicado pela alta produtividade recente (Figura 2): quando há grande volume de publicações em pouco tempo, o acúmulo de citações tende a se dispersar, reduzindo a média relativa por artigo. Essa tendência, de acordo com Donthu *et al.*, (2021), revela um paradoxo característico de áreas em expansão rápida: embora haja aumento de produção, o impacto médio por artigo tende a cair temporariamente até que um novo núcleo de trabalhos de referência se consolide.

O crescimento exponencial observado a partir de 2021 não deve ser interpretado apenas como um aumento quantitativo da produção científica, mas como um reflexo da convergência entre transformações regulatórias, tecnológicas e institucionais. A consolidação de iniciativas como o ISSB, a ampliação das exigências de divulgação de informações de sustentabilidade e a popularização de modelos avançados de Inteligência Artificial criaram um ambiente favorável para o desenvolvimento de pesquisas interdisciplinares. Entretanto, o rápido aumento do número de publicações não implica, necessariamente, amadurecimento teórico do campo.

Uma análise da distribuição mundial da literatura mostra que a produção científica sobre IA e ESG está concentrada em alguns polos globais, com destaque para a China, seguida pela Coreia do Sul, Estados Unidos e países Índia, Reino Unido, Indonésia e Rússia. Essa liderança reflete tanto o forte investimento em pesquisa e desenvolvimento em IA (Fatemi; Glaum e Kaiser, 2018) quanto a crescente institucionalização de frameworks de sustentabilidade nesses países (Eccles; Klimenko, 2019). Países emergentes, como Brasil, Índia e África do Sul, apresentam presença no mapa, mas ainda com produção muito inferior, o que indica assimetria na distribuição global do conhecimento.

Figura 3: Distribuição, por países, dos artigos analisados.



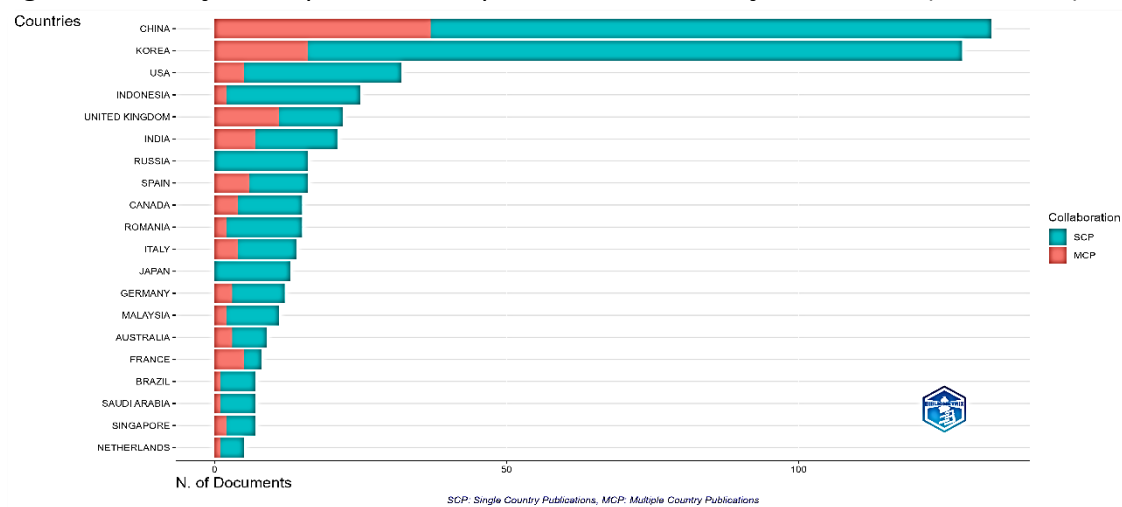
Fonte: dados da pesquisa.

Essa concentração é consistente com análises bibliométricas em campos interdisciplinares, que apontam a predominância de países desenvolvidos na produção científica em temas de sustentabilidade e inovação tecnológica (Haunschild; Bornmann; Mark, 2016). Tal cenário levanta desafios quanto à representatividade das perspectivas do sul global e evidencia a necessidade de ampliar a cooperação internacional, de forma a incluir diferentes realidades socioambientais e construir métricas ESG mais inclusivas.

A Figura 4 evidencia que a China lidera em número de autores correspondentes na produção científica sobre IA e ESG, seguida por Coreia do Sul e Estados Unidos. Enquanto China e Coreia apresentam predominância de publicações em colaboração nacional (*SCP – Single Country Publications*), $SCP = 72,2\%$ e $SCP = 87,5\%$ respectivamente, países como França ($SCP = 37,5\%$), Reino Unido ($SCP = 50\%$) e Espanha ($SCP = 62,5\%$) demonstram maior equilíbrio entre publicações domésticas e em colaboração internacional como no caso da *Multiple Country Publications (MCP)*.

Esse padrão confirma análises anteriores que destacam a China como potência emergente em IA (Fatemi; Glaum e Kaiser, 2018), mas também ressalta que o avanço qualitativo da pesquisa depende fortemente da internacionalização, aspecto em que países ocidentais ainda lideram (Haunschild; Bornmann; Mark, 2016).

Figura 4: Produção dos países e seus padrões de colaboração científica (SCP x MCP).



Fonte: dados da pesquisa.

O destaque de países emergentes como Indonésia (SCP = 92%), Índia (SCP = 66,7%) e Brasil (SCP = 85,7%), mesmo em menor escala, sugere que a pauta ESG associada à IA está se expandindo para além dos tradicionais centros de pesquisa, embora ainda persista forte desigualdade na distribuição global. A maior participação em colaborações internacionais foi observada em países com menores números de publicações totais e menor representatividade na área.

Essa constatação possui implicações relevantes para o desenvolvimento futuro das métricas ESG. Caso os modelos de IA continuem sendo treinados predominantemente com bases de dados provenientes de economias desenvolvidas, há o risco de perpetuar vieses estruturais na avaliação da sustentabilidade corporativa. Assim, ampliar a participação científica de países latino-americanos, africanos e de outras economias emergentes representa não apenas uma questão de equidade acadêmica, mas uma condição necessária para o desenvolvimento de indicadores mais representativos da diversidade socioambiental global.

Identificou-se também os cinco periódicos mais populares com base no número de artigos publicados sobre o tema. Nessa relação inclui: *ICAIIIC*, *Sustainability*, *Journal of Cleaner Production*, *Business Strategy and the Environment*, *Finance Research Letters*, *Sustainable Development*. Complementarmente, buscamos identificar e analisar nesses periódicos quais são os artigos mais citados e o impacto dos artigos a partir do número total de citações nas

bases de dados. A tabela 2 apresenta a relação dos 10 trabalhos mais citados nas bases de dados.

Tabela 2: Principais artigos da base de dados determinados pelo número de citações.

Paper	Título	Periódico	Total Citations
ZHENG M, 2023, BUS STRATEG ENVIRON	Does environmental, social, and governance performance move together with corporate green innovation in China?	Finance Research Letters	208
RAJAABELINA L, 2021, PSYCHOL MARKET	Creepiness: Its antecedents and impact on loyalty when interacting with a chatbot.	Phisicology and Marketing.	134
CHANG K, 2023, APPL ECON LETT	The impacts of ESG performance and digital finance on corporate financing efficiency in China.	Applied Economics Letters.	108
IONESCU G, 2019, TECHNOL. ECON. DEV. ECO.	The impact of ESG factors on market value of companies from travel and tourism industry.	Technological and Economic Development of Economy.	100
CHEN H, 2022, J CLEAN PROD	Impacts on the ESG and financial performances of companies in the manufacturing industry based on the climate change related risks.	Journal of cleaner production.	93
GIOVANNI, 2023, SUSTAINABILITY-BASEL	Sustainability of the Metaverse: A Transition to Industry 5.0.	Sustainability.	91
KUO T, 2021, J CLEAN PROD	Do corporate social responsibility practices improve financial performance? A case study of airline companies.	Journal of cleaner production	87
CITTERIO A, 2023, FINANC RES LETT	The role of Environmental, Social, and Governance (ESG) in predicting bank financial distress.	Finance Research Letters	71
BUDENNNYY S, 2022, DOKL MATH	eco2AI: Carbon Emissions Tracking of Machine Learning Models as the First Step Towards Sustainable AI.	Matemática Doklady	69

AL-HIYARI A, 2023, CORP GOV-INT J BUS S	Environmental, social and governance performance (ESG) and firm investment efficiency in emerging markets: the interaction effect of board cultural diversity.	Corporate Governance-The International Journal of Business in Society	68
---	--	---	----

Fonte: dados da pesquisa.

A Tabela evidencia que os trabalhos mais citados na interface entre IA e ESG estão fortemente vinculados a contextos aplicados, sobretudo no eixo da inovação verde corporativa e da eficiência financeira associada às métricas ESG (Zheng, 2023; Chang, 2023). Destaca-se ainda a presença de estudos que exploram os efeitos da responsabilidade social corporativa e do desempenho climático no setor financeiro, áreas críticas para compreender a transição empresarial em direção à sustentabilidade (Chen, 2022; Kuo, 2021).

A alta repercussão desses artigos confirma que o debate acadêmico está alinhado às demandas de investidores e reguladores, que pressionam empresas a integrar critérios de sustentabilidade e governança a modelos de tomada de decisão (Eccles; Klimenko, 2019; Friede; Busch; Bassen, 2015).

Outro ponto relevante é a emergência de estudos que ampliam a agenda ESG para além das métricas tradicionais, como a discussão sobre Indústria 5.0 e Metaverso (Giovanni, 2023) e a proposta de IA sustentável para rastreamento de emissões de carbono (Budenny, 2022). Esses artigos indicam que a literatura começa a explorar dimensões mais inovadoras, ligadas tanto à digitalização quanto à inteligência artificial aplicada à sustentabilidade (Dwivedi *et al.*, 2021).

Apesar da diversidade temática, nota-se a concentração em periódicos de áreas de finanças, economia e gestão, o que revela que, embora interdisciplinar, o campo ainda é orientado majoritariamente por abordagens econômicas e de negócios — aspecto também observado em revisões sistemáticas sobre ESG (Drempetic; Klein; Zwergel, 2020).

Com base na análise desses 10 artigos mais citados e da base de dados como um todo, observa-se que as análises científicas que integram os eixos de pesquisa IA e ESG se organizam em torno de dois eixos principais:

(i) Abordagens tradicionais de sustentabilidade corporativa, que relacionam desempenho ESG com variáveis como finanças, risco climático, manufatura e responsabilidade social (Chen, 2022; Kuo, 2021), e;

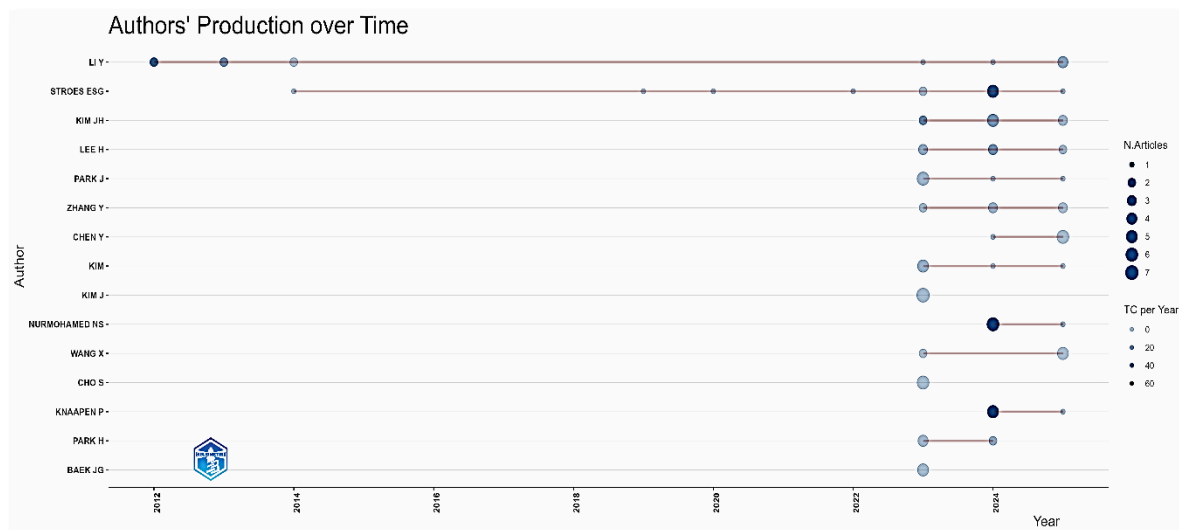
(ii) Novos contextos digitais e tecnológicos, que exploram a inserção de inovação verde, finanças digitais, Indústria 5.0, Metaverso e aplicações de IA voltadas ao rastreamento de emissões e à previsão de cenários ambientais (Budenny, 2022; Giovanni, 2023).

Essa combinação evidencia que, embora a literatura mantenha forte vínculo com a lógica empresarial e financeira, há um movimento emergente de incorporação de tecnologias digitais disruptivas para reforçar a confiabilidade e a aplicabilidade das métricas ESG. Tais resultados corroboram a tendência apontada por Dwivedi *et al.* (2021), de que a integração de IA e sustentabilidade se encontra em fase de diversificação temática, ao mesmo tempo em que confirma que a padronização conceitual ainda é um desafio (Drempetic; Klein; Zwergel, 2020).

Tais afirmações se tornam ainda mais visíveis quando se analisa as taxas de publicação e citação dos autores ao longo do tempo. Uma análise aprofundada da trajetória temporal dos autores líderes nas pesquisas em ESG e IA revelam *insights* importantes sobre o desempenho dos autores ao longo do tempo e destacam padrões significativos que possibilitam uma compreensão mais ampla da dinâmica da pesquisa na área.

Nesse sentido, a Figura 5 evidencia a trajetória temporal dos principais autores que publicaram sobre IA e ESG. Nota-se a liderança de Li Y e Stroes, com produção contínua desde os primeiros registros e diversificação de publicações ao longo do período. Outros nomes recorrentes, como Kim JH, Lee H, Park, Zhang Y e Kim, também apresentam constância, ainda que em menor volume e concentradas a partir de 2022. O crescimento recente da participação de autores da Ásia (China e Coreia do Sul, em especial) corrobora a centralidade dessas regiões na produção científica do campo (Fatemi; Glaum e Kaiser, 2018).

Figura 5: Produção dos autores ao longo do tempo.



Fonte: dados da pesquisa.

O padrão identificado sugere a formação de núcleos emergentes de liderança científica, com autores que funcionam como referência na disseminação do tema, entretanto, a predominância de poucos pesquisadores com essas características pode indicar concentração de influência, limitando a pluralidade teórica e metodológica. Donthu *et al.*, (2021) descreve esse padrão de comportamento como um fenômeno que é típico em campos interdisciplinares recentes, nos quais poucos grupos lideram a consolidação inicial. Para o avanço do campo, será fundamental ampliar a diversidade de autores e instituições, fortalecendo redes colaborativas e a internacionalização das pesquisas.

Além das tendências de crescimento no volume de publicações e do comportamento das citações médias por artigo, a análise bibliométrica também revelou indicadores agregados relevantes da amostra. O *corpus* apresentou h-index máximo de 9, indicando que pelo menos nove artigos receberam nove ou mais citações; G-index máximo de 19, que ressalta a influência de publicações altamente citadas; e m-index máximo de 2,5, ajustando o impacto pelo tempo de publicação. Considerando os valores médios (h-index $\approx$ 1,4; g-index $\approx$ 1,9; m-index $\approx$ 0,6), nota-se que, embora o campo ainda esteja em fase emergente, já existem trabalhos de referência capazes de sustentar a consolidação teórica e metodológica do tema. Esses resultados confirmam que a literatura, apesar de recente, apresenta núcleos de impacto

crescente, coerentes com o padrão de amadurecimento observado em campos interdisciplinares.

A base final analisada apresentou um total de 918 artigos publicados entre 2014 e 2025, evidenciando a consolidação de um campo emergente em franca expansão. O crescimento é particularmente expressivo no período recente: entre 2020 e 2025 o número de publicações aumentou mais de 2.860%, alcançando seu pico em 2025, com 326 artigos. Esse salto coincide com a intensificação da agenda regulatória internacional em sustentabilidade e com a maturidade das aplicações de Inteligência Artificial.

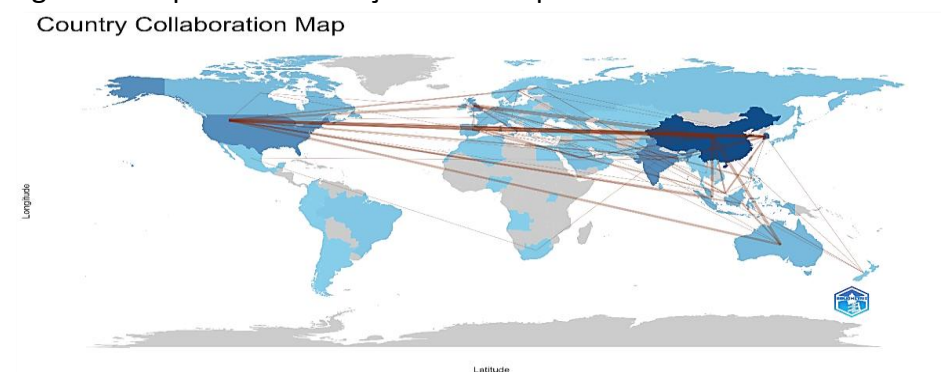
Em termos de impacto, o conjunto de artigos mais citados acumula 1.029 citações, com destaque para o trabalho de Zheng M. (2023) no *Business Strategy and the Environment*, que sozinho recebeu 208 citações. O ano de 2021 apresentou a maior média de citações por artigo, reflexo de trabalhos pioneiros que se tornaram referência no debate. Esses resultados confirmam que, embora recente, a literatura já apresenta núcleos de alta relevância científica, capazes de estruturar as futuras direções do campo.

4.1 ANÁLISE DE COLABORAÇÃO E REDES CIENTÍFICAS

A análise das redes de cooperação internacional permite compreender quem são os polos de liderança, quais países e autores atuam como hubs de conhecimento e de que forma as conexões estabelecidas moldam a consolidação do campo. O mapa de colaboração entre países retrata tais características ao demonstrar os elos de cooperação entre os países e sua profundidade. A Figura 6 evidencia, nesta pesquisa, a formação de polos centrais de cooperação científica, liderados principalmente por China e Estados Unidos, que se destacam conectando diversas regiões.

Observa-se também forte participação de países europeus (Reino Unido, Alemanha, França) e asiáticos (Coreia do Sul, Japão), enquanto o Sul Global aparece de forma periférica, com menor densidade de conexões. Esse padrão confirma a centralidade histórica das economias desenvolvidas na produção e difusão do conhecimento científico em áreas emergentes, como ESG e IA (Haunschild; Bornmann, 2016).

Figura 6: Mapa de Colaboração entre os países.



Fonte: dados da pesquisa.

Esse cenário de destaque para as cooperações multilaterais mais robustas apenas entre os países que tradicionalmente investem mais em IA e em pesquisas em geral, indica tanto uma oportunidade de expansão nas pesquisas para os países latino-americanos e africanos no futuro, por meio de maior internacionalização das redes de pesquisa, quanto um risco de aprofundamento das assimetrias de conhecimento caso a cooperação científica não seja ampliada.

Esse padrão de colaboração não foi observado com a mesma consistência quando analisada a rede de coautoria entre os autores. A rede encontrada revelou um padrão de fragmentação, com a presença de pequenos grupos isolados e poucas conexões robustas entre autores.

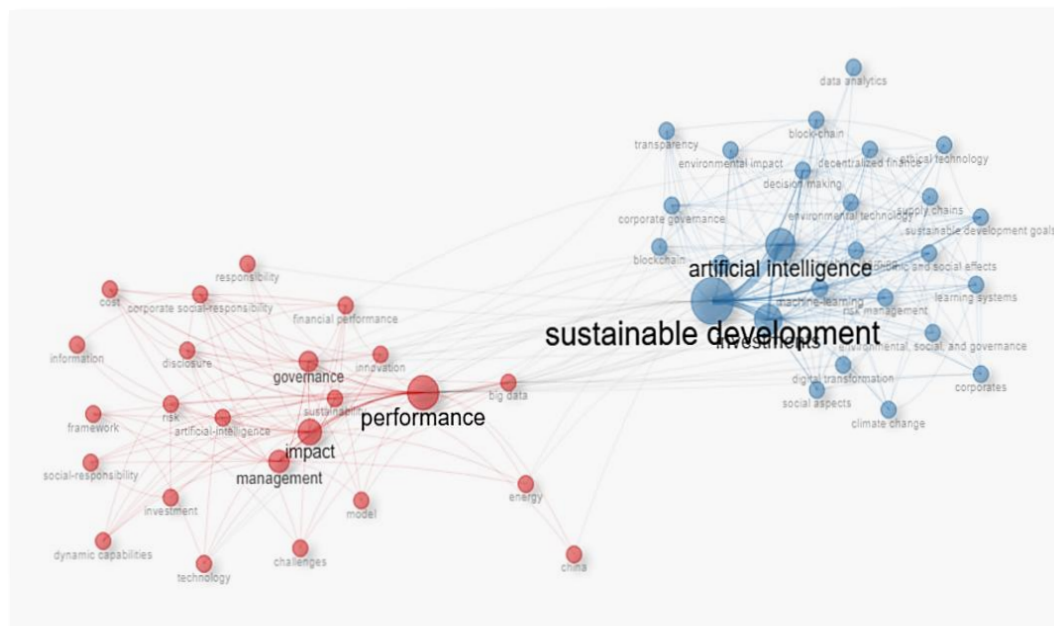
Apenas o cluster liderado por Stroes, Erik S.G. demonstra maior densidade, enquanto a maioria das relações ocorre em pares ou tríades. Esse cenário indica que, embora a produção científica sobre IA e ESG esteja em expansão, a cooperação entre pesquisadores ainda é incipiente, refletindo um estágio de baixa maturidade do campo (Price, 1965; Zupic; Čater, 2015). A ausência de redes consolidadas limita a circulação de ideias e a padronização conceitual. Como ressaltado anteriormente, essa característica sugere a necessidade de se ampliar esforços colaborativos para fortalecer a base teórica e metodológica da área.

Para identificar a estrutura cognitiva do campo e suas frentes de pesquisa, realizamos análise de coocorrência de palavras-chave (*author keywords e Keywords Plus*), seguida de

clusterização e mapa temático. A rede de coocorrência permite mapear tópicos que tendem a aparecer conjuntamente nos artigos, revelando “comunidades semânticas” (Aria; Cuccurullo, 2017; Waltman; Van Eck, 2012). Já o mapa temático foi interpretado a partir dos eixos de centralidade (importância do tema para a estrutura global) e densidade (grau de desenvolvimento interno do tema), classificando-os como temas motores, básicos/transversais, nichos e emergentes/declinantes (Callon; Courtial; Laville, 1991; Cobo *et al.*, 2011).

A rede de coocorrência baseada em palavras-chave dos autores evidencia dois clusters principais (Figura 7). O primeiro, em vermelho, organiza-se em torno de termos como *performance*, *governance*, *management*, *impact*, *corporate social responsibility* e *financial performance*, revelando uma frente de pesquisa voltada para a dimensão corporativa e gerencial do ESG, em especial voltada à mensuração de resultados financeiros e não financeiros e à integração de práticas de responsabilidade social e divulgação em relatórios empresariais.

Figura 7: Rede de coocorrência segundo as palavras-chave dos autores (*Author Keywords*).



Fonte: dados da pesquisa.

O Cluster 2 concentra termos como *artificial intelligence*, *sustainable development*, *machine learning*, *big data*, *climate change* e *block-chain*, configurando claramente a frente de pesquisa voltada para a integração entre tecnologias digitais e objetivos de

sustentabilidade. A centralidade de *artificial intelligence* e *sustainable development* indica que este cluster funciona como o eixo tecnológico-metodológico do campo, em contraste com o caráter corporativo-financeiro do Cluster 1. Além disso, a presença de *sustainable development goals* e *climate change* mostra que a literatura está articulando a IA a desafios globais, conectando métricas ambientais e sociais a técnicas de modelagem preditiva e análise de dados.

Os termos *decision making*, *risk management* e *corporate governance* reforçam o papel da IA como ferramenta aplicada não apenas à coleta e análise de dados, mas também à suporte à decisão estratégica, especialmente em contextos de risco climático e investimentos sustentáveis. O aparecimento de *decentralized finance* e *block-chain* sugere uma dimensão nova/emergente, onde tecnologias financeiras digitais são exploradas como instrumentos para aumentar a transparência e a rastreabilidade das métricas ESG. O padrão apresentado nesse cluster se relaciona muito com a tendência identificada por Dwivedi *et al.* (2021) de que a inteligência artificial se consolida como tecnologia-chave para operacionalizar a sustentabilidade e ampliar a robustez dos relatórios corporativos.

Dwivedi *et al.* (2021) sugere que o eixo corporativo tende a se aproximar das discussões tecnológicas à medida que novas ferramentas digitais de mensuração e predição são incorporadas. Nesse sentido, o cluster 2 (em azul) nos indica uma transição em direção à digitalização do ESG nos estudos de governança e, nesse processo, a IA e Big Data desempenham papel estratégico para consolidar métricas mais robustas e comparáveis.

A análise de coocorrência das *Keywords Plus* apresentou uma estrutura de coocorrência muito parecida com a estrutura gerada a partir das *keywords* dos autores apresentada na figura 7. Foram encontrados 50 termos organizados em 2 clusters distintos onde o Cluster 1 reúne conceitos ligados à dimensão corporativa e de desempenho e o Cluster 2 concentra termos associados à tecnologia e sustentabilidade global. Os resultados de centralidade indicam que *performance* (Cluster 1) e *sustainable development* (Cluster 2) funcionam como termos-ponte de maior *betweenness*, conectando as dimensões corporativa e tecnológica.

Em conjunto, os resultados sugerem que a literatura está evoluindo de abordagens essencialmente descritivas de desempenho ESG para aplicações preditivas e de apoio à decisão, reforçando o papel da IA como vetor da digitalização da sustentabilidade. No entanto,



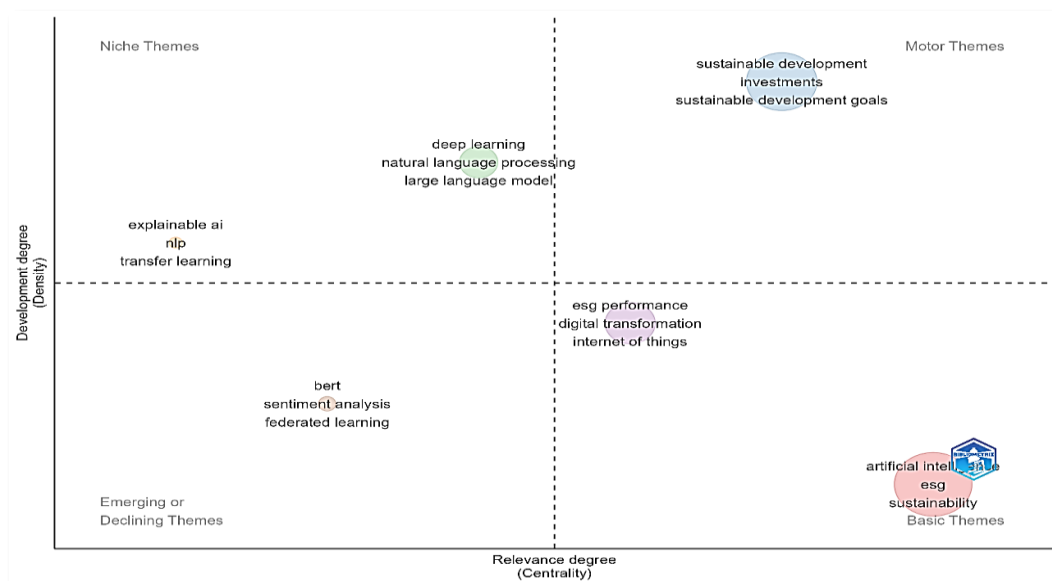
Fonte: Dados da Pesquisa.

A comparação entre as duas figuras sugere a existência de uma complementaridade nas pesquisas: enquanto as *Keywords Plus* evidenciam maior peso de conceitos técnicos e metodológicos, como *machine learning*, *deep learning* e *data analytics*, as palavras-chave dos autores enfatizam dimensões gerenciais e práticas, como *corporate social responsibility* e *financial performance*.

De acordo com Cobo *et al.* (2011), esse contraste é típico em campos emergentes, nos quais os autores direcionam a ênfase ao escopo aplicado, enquanto o indexador amplia o vocabulário para termos mais transversais. Em conjunto, as nuvens geradas confirmam e indicam que o debate está se consolidando em torno dos eixos tecnologia preditiva e práticas de governança corporativa sustentáveis.

Após identificar, por meio da nuvem de palavras, os termos de maior recorrência e relevância na literatura, buscou-se aprofundar a análise por meio do Mapa temático (Figura 10), que permite avaliar não apenas a frequência dos termos, mas também sua importância relativa (centralidade) e o grau de desenvolvimento interno (densidade) das diferentes frentes de pesquisa. Essa abordagem possibilita compreender como os conceitos se organizam em torno de temas básicos, motores, emergentes ou de nicho, revelando a estrutura intelectual do campo e sinalizando os eixos que sustentam a integração entre inteligência artificial e práticas ESG.

Figura 10: Mapa temático das *Keywords Authors* segundo grau de centralidade e densidade.



Fonte: Dados da Pesquisa.

O mapa temático apresentou a existência de seis agrupamentos principais: *artificial intelligence*, *sustainable development*, *esg performance*, *deep learning*, *BERT* e *explainable AI*.

1. Temas Básicos (alta centralidade, baixa densidade): O *cluster artificial intelligence – ESG – sustainability* concentra o maior número de ocorrências (947 para “artificial intelligence”, 191 para “ESG”), posicionando-se como núcleo estruturante do campo. Sua localização no quadrante inferior direito indica que se trata de um tema transversal, mas ainda em desenvolvimento conceitual. Ou seja, é amplamente relevante para conectar subáreas, mas carece de consolidação metodológica e teórica (Cobo *et al.*, 2011; Zupic; Čater, 2015).

2. Temas Motores (alta centralidade, alta densidade): O *cluster sustainable development – investments – sustainable development goals* apresenta elevada densidade (22.4) e centralidade (2.19), destacando-se como motor da pesquisa atual. Esse núcleo traduz o esforço de conectar a IA às agendas globais, em especial aos ODS e à lógica de investimentos sustentáveis, funcionando como vetor de dinamismo que orienta tanto práticas acadêmicas quanto políticas de inovação (Donthu *et al.*, 2021).

3. Temas Emergentes/Declinantes (baixa centralidade, baixa densidade): Os clusters relacionados ao modelo de linguagem BERT, *sentiment analysis* e *federated learning* possuem baixa frequência e baixa centralidade, refletindo tentativas recentes de aplicar técnicas específicas de IA ao contexto ESG. Sua posição indica que podem evoluir para nichos ou se esvaziar, dependendo da adesão da comunidade científica e da capacidade de gerar resultados aplicados.

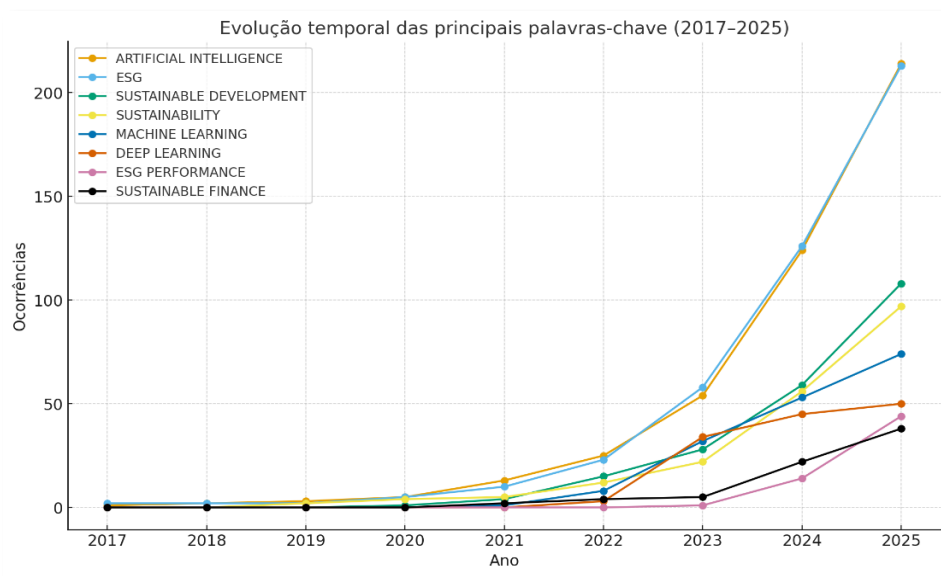
4. Temas de Nicho (baixa centralidade, alta densidade): *Deep learning*, *natural language processing* e *explainable AI* apresentam maior densidade, sugerindo desenvolvimento conceitual avançado, mas com aplicação restrita. Estes temas funcionam como especializações metodológicas: relevantes em termos técnicos, mas ainda pouco conectados ao *mainstream* do debate ESG sustentabilidade.

Os resultados confirmam que a literatura sobre IA e ESG se organiza em torno de dois polos: um polo central-básico (*AI*, *ESG*, *sustainability*), que ancora a interseção entre tecnologia e práticas de governança e um polo motor (*sustainable development*, *SDGs*, *investments*), que impulsiona a agenda com alta densidade e aplicabilidade. A tensão entre esses polos sugere um campo em maturação, onde conceitos amplos (IA e ESG) ainda carecem de padronização, enquanto frentes aplicadas (ODS e investimentos sustentáveis) apresentam maior dinamismo e consolidação. As áreas emergentes (como *BERT* e *federated learning*) podem indicar futuras rotas de especialização metodológica, reforçando a tendência de expansão para além das métricas financeiras tradicionais (Dwivedi *et al.*, 2021).

A leitura conjunta do mapa temático e da evolução temporal das palavras-chave reforça a ideia de que o campo IA–ESG se estrutura em torno de uma dupla ancoragem: de um lado, conceitos básicos e transversais (*artificial intelligence*, *ESG*, *sustainability*), que concentram alta centralidade mas ainda carecem de maior densidade conceitual; de outro, frentes motores e aplicadas (*sustainable development*, *sustainable finance*, *ESG performance*), que emergem com crescente frequência a partir de 2021 e dinamizam a agenda em direção às práticas corporativas e de investimento.

A curva histórica mostra que, enquanto a IA assumiu papel dominante e estruturante desde 2019, os termos ligados ao desempenho e às finanças sustentáveis ganharam força apenas recentemente, confirmando sua condição de temas motores identificada no mapa temático. Já as técnicas específicas de IA, como *machine learning* e *deep learning*, mantêm crescimento constante mas em patamares inferiores, alinhando-se à posição de nichos especializados no mapa. Em conjunto, os dois instrumentos revelam um campo em maturação, no qual conceitos amplos garantem conectividade, enquanto aplicações concretas em finanças e sustentabilidade asseguram densidade e impacto.

Figura 11: Evolução temporal das principais palavras-chave (2015–2025).



Fonte: dados da pesquisa.

A integração entre IA e métricas ESG abre um conjunto expressivo de oportunidades científicas e práticas. Do ponto de vista ambiental, algoritmos de *machine learning* já demonstram potencial para aprimorar a modelagem de mudanças climáticas, prever riscos relacionados a desastres naturais e monitorar em tempo real emissões de carbono (Rolnick *et al.*, 2019). Esses avanços permitem reduzir a assimetria de informações entre empresas, governos e sociedade, criando bases mais sólidas para decisões estratégicas de mitigação de riscos ambientais. No eixo social, a IA pode auxiliar na análise de políticas de diversidade e inclusão por meio de dados de recursos humanos, enquanto na governança se mostra valiosa para fortalecer mecanismos de *compliance* e auditoria (Yang; Yang, 2025).

No entanto, esses avanços trazem consigo riscos significativos que não podem ser negligenciados. Algoritmos de IA operam a partir de dados históricos, o que pode perpetuar vieses socioeconômicos, culturais e geográficos, reforçando desigualdades em vez de mitigá-las (Mittelstadt, 2019). Além disso, a opacidade dos modelos, frequentemente descrita como *black box*, levanta questões sobre a transparência e a auditabilidade dos resultados utilizados em métricas ESG. Se relatórios de sustentabilidade incorporarem previsões baseadas em modelos opacos, existe o risco de comprometer a confiança social e de investidores, ampliando a distância entre relatórios e realidade (Floridi *et al.*, 2018).

A partir dos resultados obtidos, torna-se evidente a necessidade de avançar para uma agenda de pesquisa que una padronização e inovação. A harmonização de métricas ESG

continua sendo um desafio central, e a literatura mostra que não há consenso sobre quais indicadores devem ser priorizados (Eccles; Klimenko, 2019). Nesse sentido, a IA pode desempenhar um papel estratégico, oferecendo ferramentas para reduzir a subjetividade e aumentar a comparabilidade entre relatórios. Contudo, essa padronização deve ser construída de forma inclusiva, garantindo que contextos regionais não sejam silenciados em nome de uma universalização abstrata.

Outro caminho promissor se refere à integração de novas tecnologias digitais. Modelos de linguagem como BERT e tecnologias de *blockchain* emergem como potenciais aliados na busca por maior transparência e rastreabilidade de informações ESG. O desafio será incorporar essas inovações sem que elas se tornem apenas instrumentos técnicos, mas sim mecanismos capazes de aumentar a legitimidade social e política das métricas.

A literatura também precisa avançar na construção de pontes interdisciplinares. Os resultados mostraram que a produção científica está fragmentada em blocos corporativos e tecnológicos, conectados por alguns conceitos-chave, como *sustainable development*. Superar essa fragmentação exige que as agendas de pesquisa sejam mais integradas, articulando conhecimentos da ciência da computação, da economia, da administração, da sociologia e das ciências ambientais. Esse movimento é crucial para evitar que a integração IA–ESG se reduza a um campo técnico, esvaziado de dimensões sociais e políticas.

A contribuição deste trabalho é demonstrar que a IA pode funcionar como vetor para a construção de métricas ESG mais robustas, desde que ancorada em princípios de transparência, equidade e cooperação internacional. Trata-se, portanto, de uma agenda em formação, cujo futuro dependerá da capacidade da ciência global de articular inovação tecnológica com responsabilidade social e ambiental.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliométrica realizada sobre a integração entre Inteligência Artificial e práticas ESG revela um campo emergente e em rápida expansão, caracterizado por oportunidades promissoras e desafios significativos.

O estudo demonstra um crescimento exponencial de publicações a partir de 2020, coincidindo com a intensificação da agenda regulatória internacional sobre sustentabilidade e a maturidade das aplicações de IA. Este aumento substancial nas publicações reflete não

apenas o interesse crescente da comunidade acadêmica, mas também a urgência percebida em abordar questões de sustentabilidade através de soluções tecnológicas avançadas.

O futuro deste campo promissor reside na construção de uma ciência global capaz de articular inovação tecnológica com responsabilidade social e ambiental. Isso exigirá um esforço concentrado para superar as barreiras geográficas e disciplinares, promover a colaboração internacional e garantir que as vozes de todas as partes interessadas sejam ouvidas no processo de desenvolvimento e implementação de soluções de IA para ESG. Somente através de uma abordagem verdadeiramente inclusiva e ética poderemos garantir que a integração de IA e ESG conduza a um futuro mais sustentável e equitativo para todos.

As lacunas e perspectivas de pesquisas futuras na integração entre Inteligência Artificial (IA) e práticas ESG incluem a necessidade de ampliar a participação de países do Sul Global para diversificar as perspectivas, abordar desafios éticos como vieses algorítmicos e transparência dos modelos de IA, desenvolver métricas ESG mais robustas e socialmente justas, e promover colaboração interdisciplinar.

Futuras pesquisas devem focar no equilíbrio entre padronização e contextualização, tecnologia e ética, finanças e justiça socioambiental. A exploração de novas tecnologias como *blockchain* para melhorar a transparência e rastreabilidade das informações ESG, e a inclusão de vozes marginalizadas no discurso sobre sustentabilidade e tecnologia são áreas promissoras. Além disso, é crucial investigar como garantir que a integração de IA e ESG leve a práticas de negócios verdadeiramente mais sustentáveis e responsáveis, superando barreiras geográficas e disciplinares para construir uma ciência global que articule inovação tecnológica com responsabilidade social e ambiental.

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A análise restringiu-se às bases Web of Science e Scopus e aos descritores adotados na estratégia de busca, podendo não contemplar toda a produção científica relevante sobre a temática. Além disso, por se tratar de uma análise bibliométrica, os resultados permitem identificar padrões de produção, colaboração e evolução temática, mas não avaliam a qualidade metodológica ou a robustez empírica dos estudos analisados. Dessa forma, pesquisas futuras podem ampliar a cobertura documental, incorporar outras bases de dados e combinar métodos bibliométricos com revisões sistemáticas e análises qualitativas, aprofundando a compreensão das contribuições da Inteligência Artificial para o

desenvolvimento de métricas ESG.

REFERÊNCIAS

ADEOYE, O. *et al.* Artificial Intelligence in ESG investing: enhancing portfolio management and performance. **International Journal of Science and Research Archive**, v. 11, n. 1, p. 2194–2205, 28 fev. 2024. DOI: [10.30574/ijrsra.2024.11.1.0305](https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.11.1.0305). Disponível em: <https://l1nq.com/4qgr5dt>. Acesso em: 9 set. 2025.

AL-HIYARI, A. *et al.* Environmental, social and governance performance (ESG) and firm investment efficiency in emerging markets: the interaction effect of board cultural diversity. **Corporate Governance-The International Journal of Business in Society**, v. 23, n. 3, p. 650–673, 2023. DOI: [10.1108/CG-03-2022-0133](https://doi.org/10.1108/CG-03-2022-0133). Disponível em: <https://sl1nk.com/vbs1dip>. Acesso em: 22 jan. 2025.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>. Disponível em: [bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis – ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S154622261730007). Acesso em: 12 set. 2024.

BUDENNY, S. *et al.* eco2AI: Carbon Emissions Tracking of Machine Learning Models as the First Step Towards Sustainable AI. **Doklady Mathematics**, v. 106, n. SUPPL 1, p. S118–S128, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064562422060230>. Disponível em: <https://l1nq.com/tudf4ld>. Acesso em: 10 dez. 2024.

CALLON, M.; COURTIAL, J. P.; LAVILLE, F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research. **Scientometrics**, v. 22, p. 155–205, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF020192801>. Disponível em: <https://l1nq.com/imeau4x>. Acesso em 12 jul. 2024.

CHANG, K. *et al.* The impacts of ESG performance and digital finance on corporate financing efficiency in China. **Applied Economics Letters**, v. 30, n. 4, p. 516–523, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504851.2021.1996527>. Disponível em: <https://sl1nk.com/ba2a1mj>. Acesso em: 11 jun. 2025.

CHEN, H.; KUO, T.; CHEN, J. Impacts on the ESG and financial performances of companies in the manufacturing industry based on the climate change related risks. **Journal of cleaner production**, v. 380, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134951>. Disponível em: <https://l1nq.com/1aox0uq>. Acesso em: 13 mar. 2024.

CHEN, R.; ZHANG, T. Artificial intelligence applications implication for ESG performance: can digital transformation of enterprises promote sustainable development? **Chinese Management Studies**, v. 19, n. 3, p. 676–701, 22 mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/CMS-11-2023-0653>. Disponível em: <https://l1nq.com/7mm9hpk>. Acesso em: 9 set. 2025.

CHEN, S. The Influence of Artificial Intelligence and Digital Technology on ESG Reporting Quality. **International Journal of Global Economics and Management**, v. 3, n. 1, p. 301–310, 2024. DOI: <https://doi.org/10.62051/IJGEM.v3n1.36>. Disponível em: <https://l1nq.com/tu30xle>. Acesso em: 9 set. 2025.

CITTERIO, A.; KING, T. The role of Environmental, Social, and Governance (ESG) in predicting bank financial distress. **Finance Research Letters**, v. 51, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103411>. Disponível em: <https://sl1nk.com/fwyhqe7>. Acesso em: 11 ago. 2025.

COBO, M. J. *et al.* Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382–1402, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.21525>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asi.21525>. Acesso em: 15 set. 2024.

DONTHU, N. *et al.* How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>. Disponível em: <https://l1nq.com/3gkl4a7>. Acesso em: 16 set, 2024.

DREMPETIC, S.; KLEIN, C.; ZWERGEL, B. The influence of firm size on the ESG score: Corporate sustainability ratings under review. **Journal of Business Ethics**, v. 167, p. 333–360, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04164-1>. Disponível em: <https://l1nq.com/ppiv80i>. Acesso em: 11 jun. 2024.

DWIVEDI, Y. K. *et al.* Artificial Intelligence (AI): multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. **International Journal of Information Management**, v. 57, p. 101994, 2021. Disponível em: <https://sl1nk.com/4hbativ>. Acesso em: 4 de maio. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>

ECCLES, R. G.; IOANNOU, I.; SERAFEIM, G. The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. **Management Science**, v. 60, n. 11, p. 2835–2857, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984>. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.2014.1984>. Acesso em: 10 jul. 2024.

ECCLES, R. G.; KLIMENKO, S. The investor revolution. **Harvard Business Review**, v. 97, n. 3, p. 106–116, 2019. Disponível em: <https://hbr.org/2019/05/the-investor-revolution>. Acesso em: 16 jun. 2024.

FATEMI, A.; GLAUM, M.; KAISER, S. ESG performance and firm value: The moderating role of disclosure. **Global Finance Journal**, v. 38, p. 45–64, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2017.03.001>

FLORIDI, L. *et al.* AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. **Minds and Machines**, v. 28, p. 689–707, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>. Disponível em: <https://l1nq.com/7o2iip1>. Acesso em 8 fev. 2024.

FRIEDE, G.; BUSCH, T.; BASSEN, A. ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 5, n. 4, p. 210-233, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917>. Disponível em: <https://sl1nk.com/1szqxe3>. Acesso em: 3 mar. 2025.

GEORGE, G. *et al.* Big data and data science methods for management research. **Academy of Management Journal**, v. 63, n. 3, p. 653-664, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5465/amj.2016.4005>. Disponível em: <https://journals.aom.org/doi/10.5465/amj.2016.4005> Acesso em: 11 ago. 2024.

GIOVANNI, P. de. Sustainability of the Metaverse: A Transition to Industry 5.0. **Sustainability**, v. 15, n. 7, 2023. DOI: [10.3390/su15076079](https://doi.org/10.3390/su15076079). Disponível em: <https://sl1nk.com/xdaro58>. Acesso em: 19 out. 2024.

HAUNSCHILD, R.; BORNEMANN, L.; MARX, W. Climate change research in view of bibliometrics. **PLOS ONE**, v. 11, n. 7, e0160393, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160393>. Disponível em: [Climate Change Research in View of Bibliometrics | PLOS One](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160393). Acesso em: 1 fev. 2024.

IONESCU, G. *et al.* The impact of ESG factors on market value of companies from travel and tourism industry. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 25, n. 5, p. 820–849, 2019. DOI: [10.3846/tede.2019.10294](https://doi.org/10.3846/tede.2019.10294). Disponível em: <https://sl1nk.com/4cbqnf6>. Acesso em: 3 set. 2024.

KOTSANTONIS, S.; PINNEY, C.; SERAFEIM, G. ESG integration in investment management: Myths and realities. **Journal of Applied Corporate Finance**, v. 28, n. 2, p. 10-16, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jacf.12169>. Disponível em: <https://l1nq.com/23ofbwt> Acesso em: 2 jan. 2025.

KUO, T.; CHEN, H.; MENG, H. Do corporate social responsibility practices improve financial performance? A case study of airline companies. **Journal of cleaner production**, v. 310, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127380>. Disponível em: <https://l1nq.com/nym4cko>. Acesso em: 18 nov. 2024.

LIN, B.; ZHU, Y. Does AI elevate corporate ESG performance? A supply chain perspective. **Business Strategy and the Environment**, v. 34, n. 1, p. 586–597, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.3999>. Disponível em: <https://l1nq.com/evv3djf> Acesso em: 5 set. 2024.

MERIGÓ, J. M.; YANG, J. Accounting Research: A Bibliometric Analysis. **Australian Accounting Review**, 27(1), 71–100. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/auar.12109>. Disponível em: <https://l1nq.com/8leorv0>. Acesso em: 2 jul. 2025.

- MINZ, N. K.; KHATTAR, Y. Advancing Sustainability: ESG Evolution and the AI Edge. *In: POPESCU C. R. GH.; YU, P. Intersecting Environmental Social Governance and AI for Business Sustainability*. Hershey: IGI Global Scientific Publishing, 2024. p. 246-261. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1151-6.ch010>. Disponível em: <https://sl1nk.com/mdip0zh>. Acesso em: 9 jan. 2025.
- MITTELSTADT, B. Principles alone cannot guarantee ethical AI. **Nature Machine Intelligence**, v. 1, p. 501–507, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42256-0190114-4>. Disponível em: <https://sl1nk.com/ku1xpes>. Acesso em: 3 mar. 2025.
- OYEWOLE, A. *et al.* Promoting sustainability in finance with AI: a review of current practices and future potential. **World Journal of Advanced Research and Reviews**, 2024, 21(03), 590–607. DOI: [10.30574/wjarr.2024.21.3.0691](https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.3.0691) Disponível em: <https://l1nq.com/2vm647k>. Acesso em: 9 set. 2025.
- PRICE, D. J. de S. **Little Science, Big Science**. New York: Columbia University Press, 1965.
- RAJAOBELINA, L. *et al.* Creepiness: Its antecedents and impact on loyalty when interacting with a chatbot. **Psychology&Marketing**, v. 38, n. 12, p. 2339–2356, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/mar.21548>. Disponível em: <https://sl1nk.com/4km3bj3>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- ROLNICK, D. *et al.* Tackling climate change with machine learning. **ACM Computing Surveys**, v. 55, n. 2, p. 1–96, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1145/3485128>. Disponível em: <https://sl1nk.com/geelwb6>. Acesso em: 8 jul. 2025.
- WALTMAN, L.; VAN ECK, N. A new methodology for constructing a publication-level classification system of science. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 63, n. 12, p. 2378–2392, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.22748>. Disponível em: <https://l1nq.com/43oy668>. Acesso em: 14 ago. 2024.
- XIAO, Y., XIAO, L. The impact of artificial intelligence-driven ESG performance on sustainable development of central state-owned enterprises listed companies. **Sci Rep** 15, 8548 (2025). Disponível em: <https://sl1nk.com/j6c2av1>. Acesso em: 9 set. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93694-y>.
- YANG, G.; YANG, X. Adoção de IA e desempenho ESG: Evidências da China. **Int. Rev. Econ. Financ.**, v. 104, p. 104659, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.104659>. Disponível em: <https://l1nq.com/a9jhs7c>. Acesso em: 9 dec. 2025.
- ZHENG, M. *et al.* Does environmental, social, and governance performance move together with corporate green innovation in China?. **Business Strategy and the Environment**, v. 32, n. 4, p. 1670–1679, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.3211>. Disponível em: <https://l1nq.com/1b5whcs>. Acesso em: 1 maio. 2024.
- ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational**

Research Methods, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1177/1094428114562629>. Disponível em: <https://sl1nk.com/edazof0>.

Acesso em: 10 jun. 2024.