

Mapeamento das redes de pesquisa em Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e agricultura

Mapping research networks in Artificial Intelligence applied to agribusiness and agriculture

*Gevair Campos ** Pedro Canuto Macedo Sales

Informações do artigo

Recebido em: 17/03/2025

Aprovado em: 10/07/2025

Palavras-chave:

Inteligência Artificial. Agricultura de Precisão. Aprendizado de Máquina. Automação Agrícola. Blockchain na Agricultura.

Keywords:

Artificial Intelligence. Precision Agriculture. Machine Learning. Agricultural Automation. Blockchain in Agriculture.

Autores:

* Doutorando em Agronegócios pela Universidade de Brasília (UnB); Mestre em Agronegócios pela Universidade de Brasília (UnB)
Universidade de Brasília (UnB); Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA); Faculdade EFAN
javas1989@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6909-6088>

** Pedro Canuto Macedo Sales

Doutorando em Agronegócios pela Universidade Federal de Goiás (UFG); Mestre em Agronegócios pela Universidade de Brasília (UnB)
Universidade Federal de Goiás (UFG); Faculdade EFAN
pcsalesadm@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4176-2322>

Como citar este artigo:

CAMPOS, Gevair; SALES, Pedro Canuto Macedo. Mapeamento das redes de pesquisa em Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e agricultura. **Competência**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, jul. 2025.

Resumo

A inteligência artificial (IA) tem se mostrado um fator transformador no agronegócio, impulsionando a automação, aprimorando a análise de dados e otimizando a tomada de decisões. Este estudo buscou mapear as redes de produção científica sobre a aplicação da IA na agricultura, examinando as colaborações entre pesquisadores, instituições e nações, bem como identificando tendências e desafios emergentes. A metodologia empregada consistiu em uma análise bibliométrica de artigos indexados na base de dados *Scopus*, utilizando o *software VOSviewer* para investigar redes de coautoria, cocitação e coocorrência de palavras-chave. Os achados do estudo indicam um aumento significativo nas publicações a partir de 2019, atribuído ao avanço da digitalização e à crescente demanda por inovação no setor agropecuário. As investigações concentram-se predominantemente no uso de aprendizado de máquina para previsão de safras, na automação agrícola por meio de sensores inteligentes e drones, e na rastreabilidade agroalimentar embasada em blockchain. Contudo, a análise revelou uma rede de colaboração fragmentada, caracterizada por grupos de pesquisa independentes e uma interação limitada entre eles, o que pode restringir a disseminação do conhecimento e o desenvolvimento integrado da tecnologia. Diante desse cenário, ressalta-se a importância de políticas que incentivem uma maior cooperação interdisciplinar e internacional. A integração da IA com práticas sustentáveis possui o potencial de tornar a agricultura mais eficiente, resiliente às alterações climáticas e acessível a diversas realidades produtivas.

Abstract

Artificial intelligence (AI) has proven to be a transformative factor in agribusiness, driving automation, enhancing data analysis, and optimizing decision-making. This study aimed to map the networks of scientific production regarding the application of AI in agriculture, examining collaborations among researchers, institutions, and nations, as well as identifying emerging trends and challenges. The methodology employed consisted of a bibliometric analysis of articles indexed in the Scopus database, using VOSviewer software to investigate co-authorship, co-citation, and keyword co-occurrence networks. The study's findings indicate a significant increase in publications starting from 2019, attributed to the advancement of digitalization and the growing demand for innovation in the agricultural sector. Research predominantly focuses on the use of machine learning for crop yield prediction, agricultural automation through smart sensors and drones, and blockchain-based agri-food traceability. However, the analysis revealed a fragmented collaboration network, characterized by independent research groups and limited interaction among them, which may restrict knowledge dissemination and the integrated development of technology. Given this scenario, the importance of policies that encourage greater interdisciplinary and international cooperation is emphasized. The integration of AI with sustainable practices has the potential to make agriculture more efficient, resilient to climate change, and accessible to diverse productive realities.

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio abrange diversas atividades econômicas ligadas à produção, processamento e comercialização de produtos agrícolas e pecuários. Esse setor inclui desde a fabricação de insumos, como sementes e fertilizantes, até a distribuição dos produtos finais (BENOS *et al.*, 2021). Com o crescimento populacional e a necessidade de segurança alimentar, a adoção de tecnologias inovadoras tem sido essencial para aumentar a eficiência e a sustentabilidade da produção. A inteligência artificial (IA) e o big data têm revolucionado a gestão agrícola, permitindo a análise de grandes volumes de dados e auxiliando na tomada de decisões mais precisas (BHAT; HUANG, 2021). Além disso, tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) e a computação em nuvem têm facilitado a rastreabilidade e a automação das cadeias produtivas, tornando os processos mais ágeis e eficientes (GUPTA *et al.*, 2020). A evolução para a Agricultura 5.0, que integra IA e robótica, tem ampliado ainda mais esses avanços, otimizando o manejo das lavouras e reduzindo desperdícios (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020). Sensores e drones também têm sido empregados para monitoramento em tempo real, melhorando a gestão dos recursos naturais e o controle de pragas e doenças (GUPTA *et al.*, 2020).

A agricultura é essencial para a produção de alimentos, fibras e outros insumos fundamentais para a sociedade. Com os avanços tecnológicos, o setor tem passado por transformações significativas, utilizando cada vez mais algoritmos de aprendizado de máquina para prever a produtividade das colheitas e otimizar o uso dos recursos disponíveis (VAN KLOMPENBURG *et al.*, 2020). Sensores inteligentes e drones equipados com inteligência artificial têm aprimorado a gestão agrícola, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência na aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas (JHA *et al.*, 2019). Além disso, a automação aliada à IA tem possibilitado um monitoramento contínuo das lavouras, permitindo a detecção precoce de pragas e doenças e auxiliando na adoção de práticas mais sustentáveis. A chamada Agricultura 5.0 avança nesse cenário ao integrar robótica e inteligência artificial, promovendo uma gestão mais autônoma e eficiente, baseada na análise de grandes volumes de dados (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020). Essa abordagem tem o potencial de tornar a produção agrícola mais sustentável e resiliente às mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que melhora a competitividade do setor e atende às crescentes demandas globais por alimentos de forma ambientalmente responsável.

A inteligência artificial (IA) é um ramo da ciência da computação voltado ao desenvolvimento de sistemas capazes de realizar tarefas que normalmente exigem inteligência humana, como aprendizado, tomada de decisão e reconhecimento de padrões (BARYANNIS *et al.*, 2019). No agronegócio, a IA tem sido amplamente aplicada na análise preditiva de safras, na automação de processos agrícolas e na otimização da cadeia de suprimentos, proporcionando maior precisão e eficiência na produção (BHAT; HUANG, 2021). Técnicas avançadas, como aprendizado profun-

do (*deep learning*) e redes neurais artificiais, vêm sendo utilizadas para analisar imagens de culturas, detectar pragas e doenças precocemente e prever o rendimento agrícola com alta precisão (KAMILARIS; PRENAFETA-BOLDÚ, 2018). Estudos demonstram que redes neurais podem superar métodos estatísticos tradicionais na previsão da produtividade de cultivos como o arroz em regiões montanhosas, auxiliando na tomada de decisão dos agricultores e reduzindo incertezas (JI *et al.*, 2007). Além disso, a IA tem sido essencial na otimização da logística e gestão de riscos no agronegócio, contribuindo para cadeias produtivas mais eficientes (BARYANNIS *et al.*, 2019). No entanto, sua adoção depende de fatores como percepção de controle sobre a tecnologia e grau de inovação dos produtores, exigindo estratégias que incentivem a confiança e a capacitação para o uso dessas ferramentas (MOHR; KUHLE, 2021).

A integração da inteligência artificial (IA) ao agronegócio tem se consolidado como um fator estratégico para aumentar a produtividade, reduzir custos e minimizar impactos ambientais. Tecnologias baseadas em IA vêm sendo aplicadas na automação da irrigação, na detecção de doenças em plantas e no monitoramento do solo, permitindo um gerenciamento mais eficiente dos recursos agrícolas e garantindo maior precisão no uso de insumos como fertilizantes e defensivos (JHA *et al.*, 2019; BENOS *et al.*, 2021). Além disso, a análise de grandes volumes de dados possibilita ajustes em tempo real nas operações agrícolas, otimizando a tomada de decisões e melhorando a sustentabilidade da produção (BHAT; HUANG, 2021). A automação por meio de drones e robôs inteligentes tem demonstrado eficiência na semeadura, colheita e aplicação de insumos, reduzindo desperdícios e elevando a eficiência operacional (TALAVIYA *et al.*, 2020). No entanto, a adoção dessas tecnologias ainda enfrenta desafios como barreiras regulatórias, infraestrutura tecnológica limitada em áreas rurais e resistência dos produtores, especialmente devido a custos elevados e necessidade de suporte técnico especializado (CUBRIC, 2020; BHAT; HUANG, 2021). A aceitação da IA na agricultura está diretamente ligada à percepção de rentabilidade, capacitação tecnológica e acesso a financiamento, tornando essencial o desenvolvimento de políticas de incentivo que facilitem sua implementação e maximizem seus benefícios (TEY; BRINDAL, 2022).

A inteligência artificial (IA) tem se tornado uma ferramenta essencial para o agronegócio, promovendo ganhos significativos em produtividade, eficiência e sustentabilidade. Sua aplicação se destaca na automação da irrigação, na detecção precoce de doenças nas lavouras e no monitoramento do solo, permitindo um uso mais preciso de insumos e reduzindo impactos ambientais (JHA *et al.*, 2019; BENOS *et al.*, 2021). Além disso, a capacidade de processar grandes volumes de dados em tempo real possibilita ajustes estratégicos nas operações agrícolas, garantindo maior previsibilidade e otimização dos recursos (BHAT; HUANG, 2021). Tecnologias como drones e robôs inteligentes têm demonstrado grande potencial na semeadura, colheita e aplicação de defensivos, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência operacional (TALAVIYA *et al.*,

2020). No entanto, a adoção da IA no setor enfrenta desafios, incluindo altos custos de implementação, infraestrutura tecnológica limitada em áreas rurais e a necessidade de capacitação dos produtores para o uso dessas ferramentas (CUBRIC, 2020; BHAT; HUANG, 2021). A aceitação da IA na agricultura depende de fatores como percepção de rentabilidade, suporte técnico e acesso a crédito, sendo fundamental a criação de políticas públicas que incentivem sua adoção e ampliem seus benefícios (TEY; BRINDAL, 2022).

Apesar dos avanços e benefícios da inteligência artificial (IA) no agronegócio, sua adoção ainda enfrenta desafios consideráveis. Um dos principais entraves é o alto custo inicial, que dificulta a implementação por pequenos e médios produtores, muitas vezes sem acesso a financiamento adequado para investir nessas tecnologias (CUBRIC, 2020). Além disso, a infraestrutura limitada em áreas rurais, especialmente a falta de conectividade e suporte técnico, restringe a aplicabilidade dessas soluções e compromete sua eficácia (GUPTA *et al.*, 2020). A necessidade de capacitação também representa um obstáculo, pois a IA exige conhecimento técnico especializado, tornando essencial o investimento em formação e treinamento contínuos para agricultores e trabalhadores do setor (BHAT; HUANG, 2021). Outro ponto crítico envolve a segurança e privacidade dos dados agrícolas, uma vez que o armazenamento e a análise de grandes volumes de informações levantam preocupações quanto à governança e proteção de dados sensíveis (BARYANIS *et al.*, 2019). Além disso, a aceitação da IA pelos agricultores depende da percepção de controle sobre a tecnologia, dos benefícios econômicos percebidos e da preocupação com a substituição da mão de obra humana (MOHR; KUHL, 2021). Para superar essas limitações, é fundamental o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a adoção da IA na agricultura, incluindo subsídios, investimentos em infraestrutura digital e programas de capacitação, garantindo que essas inovações sejam acessíveis e tragam benefícios reais para toda a cadeia produtiva.

Considerando os avanços e desafios da inteligência artificial (IA) no agronegócio, torna-se essencial compreender sua aplicação na agricultura, avaliando seus impactos e limitações. A crescente digitalização do setor e o uso de algoritmos avançados para análise de dados têm demonstrado um grande potencial para otimizar processos produtivos, reduzir desperdícios e aumentar a sustentabilidade. No entanto, questões como alto custo de implementação, infraestrutura tecnológica limitada e a necessidade de capacitação dos produtores ainda representam desafios significativos. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo mapear as redes de produção científica sobre Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e à agricultura, identificando conexões entre pesquisadores, instituições e países, além de analisar tendências emergentes e desafios na adoção da IA no setor. A pesquisa busca analisar os impactos econômicos, sociais e ambientais da IA no setor agrícola, além de avaliar os fatores que influenciam sua aceitação e implementação. Dessa forma, pretende-se fornecer informações

relevantes para pesquisadores, produtores e formuladores de políticas públicas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a modernização do agronegócio por meio da inteligência artificial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

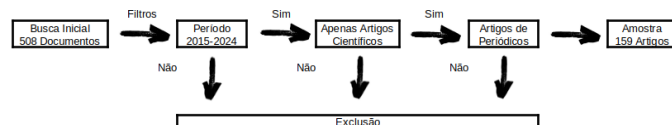
Para a condução desta pesquisa, foi realizada uma busca sistemática na base de dados *Scopus*, com o objetivo de identificar estudos que abordam a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na agricultura e no agronegócio. A escolha da *Scopus* se deve ao seu amplo escopo e rigoroso processo de indexação, garantindo a inclusão de artigos publicados em periódicos de alta qualidade e revisados por pares (LUSTOSA, FARIAS; FARIAS, 2024). Conforme apontado por Mendes *et al.* (2022), a *Scopus* é amplamente utilizada em estudos bibliométricos devido à sua abrangência e ao fornecimento de metadados estruturados, permitindo análises avançadas.

A estratégia de busca foi formulada utilizando operadores booleanos para abranger diversas variações terminológicas, seguindo uma abordagem similar à utilizada por Benos *et al.* (2021) e Saiz-Rubio e Rovira-Más (2020), que realizaram revisões sistemáticas para mapear a evolução do uso da IA na agricultura. Foram utilizados os seguintes termos nos campos *Article title*, *Keywords* e *Abstract* da base de dados: (Artificial Intelligence OR AI OR Inteligência Artificial OR IA) AND (Agriculture OR Agricultura OR Agronegócio OR Agribusiness OR Agri* OR Agro*).

Após a busca inicial, que resultou em 508 documentos, foram aplicados critérios rigorosos de inclusão e exclusão para garantir a relevância e a qualidade da amostra final. Para garantir a atualização das informações e a correspondência com o estado da arte da pesquisa na área, foram considerados apenas artigos científicos publicados nos últimos dez anos (2015-2024). Além disso, foram incluídos exclusivamente artigos revisados por pares, uma vez que apresentam maior rigor metodológico e confiabilidade acadêmica. Como fonte de dados, foram selecionados periódicos indexados na base *Scopus*, reconhecida pela abrangência e qualidade dos estudos, o que reforça a credibilidade da pesquisa. A

Figura 1 ilustra os critérios de seleção dos estudos.

Figura 1: Diagrama do processo de seleção de artigos



Fonte: Dados da pesquisa.

Por outro lado, foram excluídos documentos que não passaram por revisão por pares, como anais de conferências e *pre-prints*, devido à falta de rigor metodológico. Também foram descartados estudos cujo tema principal não abordasse diretamente a aplicação da inteligência artificial na agricultura ou no agronegócio, mesmo que utilizassem termos da busca. Além disso, artigos sem acesso ao texto completo foram eliminados, pois impediam uma análise aprofundada. Com a aplicação desses critérios, a amostra final foi reduzida para 159 artigos, seguindo metodologias bibliométricas consolidadas, o que assegura a reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados. Esse procedimento está alinhado com abordagens adotadas em revisões bibliométricas recentes, como a de Saiz-Rubio e Rovira-Más (2020), que ressaltam a importância da padronização dos critérios de inclusão e exclusão para garantir a precisão e consistência das análises.

3 GERAÇÃO E ANÁLISE DE REDES

Para a análise das conexões entre os estudos selecionados, foi utilizado o software *VOSviewer*, uma ferramenta amplamente reconhecida na construção de mapas bibliométricos e na análise de redes de coocorrência de palavras-chave, autores e referências citadas (VAN ECK; WALTMAN, 2010; 2023). O *VOSviewer* permite identificar padrões emergentes na literatura e estruturar visualmente as relações entre os artigos, facilitando a interpretação das tendências de pesquisa (CANEPPELE et al., 2023).

O processo de análise foi realizado em três etapas principais. Primeiramente, os 159 artigos foram exportados da base *Scopus* em formato *csv*, permitindo a importação direta para o *VOSviewer*. Durante essa fase, foi feita a padronização dos metadados, assegurando a consistência dos nomes de autores, palavras-chave e referências citadas. Esse processo de normalização é fundamental para evitar duplicidades e garantir a precisão das análises bibliométricas, conforme destacado por Silva, Silva e Almeida (2024). Em seguida, foram geradas as redes de coocorrência, coautoria, citação, acoplamento bibliográfico e cocitação. Para isso, definiu-se um número mínimo de ocorrências para inclusão na análise, garantindo que apenas os termos e autores com relevância significativa fossem considerados. A segmentação dos nós resultou na formação de *Clusters* temáticos, representando as principais áreas de pesquisa dentro do campo da inteligência artificial aplicada à agricultura (VAN ECK; WALTMAN, 2023). Por fim, a análise dessas redes possibilitou a identificação das principais tendências de pesquisa, dos autores mais influentes e dos temas emergentes. A estrutura das redes foi avaliada considerando a densidade de conexões, a centralidade dos nós e a distribuição dos *Clusters*, permitindo a identificação de lacunas na literatura e oportunidades para futuras investigações (CANEPPELE et al., 2023).

O uso do *VOSviewer* apresenta diversas vantagens na condução da análise bibliométrica. O *software* permite uma visualização interativa e detalhada das conexões entre os estudos,

facilitando a interpretação dos dados e a identificação de padrões ocultos na literatura (VAN ECK; WALTMAN, 2010; 2023). Além disso, a ferramenta é amplamente utilizada em pesquisas científicas por sua capacidade de gerar mapas bibliométricos de forma automatizada e confiável (CANEPPELE et al., 2023). No entanto, algumas limitações devem ser consideradas. A análise baseada no *VOSviewer* depende da qualidade dos metadados disponíveis nas bases de dados, o que pode afetar a precisão dos resultados (SILVA; SILVA; ALMEIDA, 2024). Além disso, o software não realiza uma avaliação qualitativa dos artigos analisados, limitando-se a medir a frequência de ocorrência e a coocorrência dos termos. Outra limitação é a necessidade de atualizações constantes na revisão da literatura, uma vez que o campo da inteligência artificial na agricultura está em rápida evolução (MENDES et al., 2022). Mesmo com essas restrições, a metodologia adotada proporcionou uma visão abrangente sobre o estado atual das pesquisas na área, contribuindo para o avanço do conhecimento científico e indicando caminhos promissores para futuras investigações (LUSTOSA; FARIAS; FARIAS, 2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PUBLICAÇÕES POR ANO

A análise da **Figura 2** evidencia um crescimento contínuo na produção científica relacionada à Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e à agricultura. Nos primeiros anos analisados (2015, 2016 e 2018), a ausência de publicações pode indicar um período de menor interesse ou investimento na área. No entanto, a partir de 2019, observa-se um aumento progressivo no número de publicações, refletindo um crescimento exponencial no campo. O ano de 2024 se destaca como o mais produtivo, registrando 68 publicações, um aumento significativo em comparação com os anos anteriores.

Figura 2: Publicação ao longo do período



Fonte: Dados da pesquisa.

O avanço expressivo da produção científica pode ser atribuído a diversos fatores, como o progresso tecnológico da Inteligência Artificial, o aumento da demanda por inovação no setor

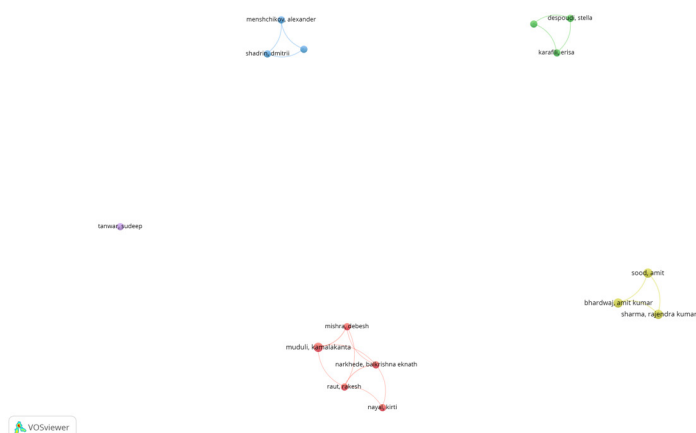
agrícola e um maior investimento em pesquisa e desenvolvimento. O crescimento das publicações entre 2020 e 2024 sugere que a área tem ganhado cada vez mais relevância, acompanhando a expansão da digitalização e automação na agricultura. Esse fenômeno também pode estar relacionado à necessidade de soluções tecnológicas para enfrentar desafios globais, como mudanças climáticas, sustentabilidade e otimização de recursos no setor agropecuário.

O padrão de crescimento representado no gráfico reforça a importância da Inteligência Artificial na modernização do agronegócio. A rápida evolução da pesquisa sugere que essa tendência deve continuar nos próximos anos, impulsionada por avanços em aprendizado de máquina, Internet das Coisas (IoT) e análise de grandes volumes de dados (Big Data). Assim, a análise demonstra não apenas o avanço do conhecimento na área, mas também a consolidação da Inteligência Artificial como um componente essencial para a inovação e eficiência no setor agrícola.

4.2 REDE DE COAUTORIA DE AUTORES

A análise da rede de coautoria evidencia a estrutura de colaboração entre pesquisadores no campo da inteligência artificial aplicada ao agronegócio e agricultura. Identificaram-se cinco *Clusters* distintos, cada um representando um grupo de autores que colaboram intensamente entre si, o que indica que a pesquisa nessa área ainda não possui uma rede de colaboração muito forte, conforme ilustra a **Figura 3**.

Figura 3: Redes de coautorias de autores*



Fonte: Dados da pesquisa.

* Nota: De um total de 710 autores, apenas 15 publicaram dois ou mais trabalhos durante o período analisado.

O *Cluster 1* (vermelho) se destaca pela sua coesão, com autores como Mishra, D.; Muduli, K.; Narkhede, B. E.; Raut, R.; e Nayal, Kirti, sugerindo uma colaboração ativa e diversificada, es-

pecialmente em estudos sobre desafios enfrentados pela adoção da inteligência artificial na cadeia de suprimentos agroalimentar na Índia (MISHRA *et al.*, 2023). O *Cluster 2* (verde) é composto por Despoudi, S. e Karafili, E., que demonstram forte ligação entre si, explorando o compartilhamento de dados na Agricultura 4.0 e sua governança por meio da inteligência artificial (SPANAKI; KARAFILI; DESPOUDI, 2021; SPANAKI *et al.*, 2021). O *Cluster 3* (azul) apresenta Menshchikov, A.; Shadrin, D.; e Somov, A., que investigam o uso de sensores embarcados e inteligência artificial para a agricultura de precisão (SHADRIN *et al.*, 2020; 2019). O *Cluster 4* (amarelo) reúne Bhardwaj, A. K.; Sharma, R. K.; e Sood, A., que concentram esforços na pesquisa sobre inteligência artificial na agricultura, com foco em revisão bibliométrica e análise de fatores determinantes para sua adoção (SOOD; SHARMA; BHARDWAJ, 2022). Por fim, o *Cluster 5* (roxo) isola Tanwar, S., cuja pesquisa foca em blockchain e inteligência artificial para a agricultura inteligente, mas sem conexões diretas com os outros *Clusters* (JADAV *et al.*, 2023).

A análise dos dados numéricos complementa essa visualização. Os autores do *Cluster 4*, Bhardwaj, Sharma, e Sood, compartilham o maior total de força de ligação (6), indicando uma colaboração intensa entre eles. Além disso, os autores do *Cluster 2*, Despoudi e Karafili, assim como os do *Cluster 3*, Menshchikov, Shadrin, e Somov, apresentam uma força de ligação de 4, sugerindo parcerias sólidas dentro de seus respectivos grupos. No *Cluster 1*, Narkhede e Raut têm uma força de ligação de 5, reforçando a conexão entre eles. Já Tanwar, do *Cluster 5*, possui força de ligação 0, o que confirma sua posição isolada na rede.

A análise revela que, embora existam colaborações significativas dentro de cada *Cluster*, a rede geral de coautoria é caracterizada por uma baixa conectividade entre os *Clusters*. Isso sugere que os autores tendem a trabalhar em grupos fechados, com pouca colaboração interdisciplinar ou intergrupar. A exceção é o *Cluster 1*, que demonstra uma colaboração mais extensa entre seus membros, indicando um potencial maior para disseminação de conhecimento e impacto científico mais amplo.

4.3 REDE DE COAUTORIA DE INSTITUIÇÕES

A análise da rede de coautoria por organizações na produção científica sobre Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e agricultura revela uma distribuição de colaboração científica centrada em três *Clusters* principais, conforme visualizado no gráfico (**Figura 4**).

Figura 4: Redes de coautorias de instituições*



Fonte: Dados da pesquisa.

* Nota: De um total de 501 instituições, apenas 5 apresentam dois ou mais trabalhos durante o período analisado.

A análise da rede de coautoria entre instituições acadêmicas revela uma estrutura de colaboração segmentada, com algumas organizações demonstrando interações diretas e outras atuando de maneira isolada. O primeiro *Cluster* (vermelho) inclui a *Aston Business School*, *Aston University* e a *School of Economic Sciences*, *University of Western Macedonia*. Ambas apresentam uma força de ligação total de 4, evidenciando uma colaboração direta, o que se reflete no número de documentos publicados (2 cada) e nas citações recebidas (162 cada). Essa conexão sugere um fluxo de pesquisa consolidado entre essas instituições.

O segundo *Cluster* (verde) representa o *Center for Computational and Data-Intensive Science and Engineering (CDISE)*, *Skolkovo Institute of Science and Technology*, *Moscow*. Apesar de possuir 2 documentos e 159 citações, essa instituição apresenta uma força de ligação de 0, indicando que suas publicações, embora relevantes, não refletem uma colaboração direta com outras organizações da rede.

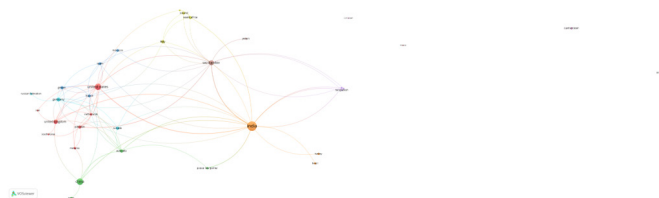
No terceiro *Cluster* (azul), encontra-se o *Department of Computer Science and Engineering*, *Thapar Institute of Engineering and Technology*, *Punjab*. Similar ao CDISE, essa instituição possui uma força de ligação de 0, o que sugere um envolvimento autônomo na produção científica, sem vínculos diretos com as demais organizações analisadas. No entanto, dentro do mesmo *Cluster*, a *School of Electronics and Computer Science*, *University of Southampton* apresenta uma força de ligação de 4, demonstrando interações colaborativas internas.

A análise numérica dos dados reforça a visualização da rede. As instituições do *Cluster* vermelho mantêm uma colaboração mais intensa entre si, enquanto o *Cluster* verde e parte do *Cluster* azul atuam de forma mais independente. Esse padrão indica que, apesar de haver uma produção científica significativa em inteligência artificial aplicada à agricultura, a cooperação entre diferentes centros de pesquisa ainda é limitada. Esse cenário sugere oportunidades para ampliar parcerias interinstitucionais e fortalecer a troca de conhecimento entre os grupos de pesquisa.

4.4 REDE DE COAUTORIA DE PAÍSES

A **Figura 5** ilustra a análise da rede de coautoria por países na produção científica sobre Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e agricultura revela uma distribuição global da pesquisa, com alguns países se destacando pela sua contribuição e colaboração.

Figura 5: Redes de coautorias de países*



Fonte: Dados da pesquisa.

* Nota: De um total de 67 países, 32 aparecem com dois ou mais trabalhos durante o período analisado.

A análise da rede de coautoria entre países destaca a Índia como o principal polo colaborativo, com 47 documentos publicados e uma força de ligação de 34, refletindo sua ampla participação na pesquisa analisada. Os Estados Unidos também desempenham um papel central, com 22 documentos e uma força de ligação de 21, evidenciando uma significativa presença e interação no cenário acadêmico global. A China, apesar de contar com 23 documentos publicados, possui uma força de ligação menor (8), o que indica uma colaboração menos intensa em comparação com Índia e Estados Unidos.

A Alemanha se sobressai em impacto acadêmico, registrando 541 citações e uma força de ligação de 12, o que demonstra sua relevância na produção científica e sua conectividade com outros países. O Reino Unido e a Arábia Saudita também apresentam uma presença colaborativa expressiva, com forças de ligação de 12 e 23, respectivamente. França e Austrália, com forças de ligação de 10 e 11, reforçam sua participação ativa na rede internacional de pesquisa.

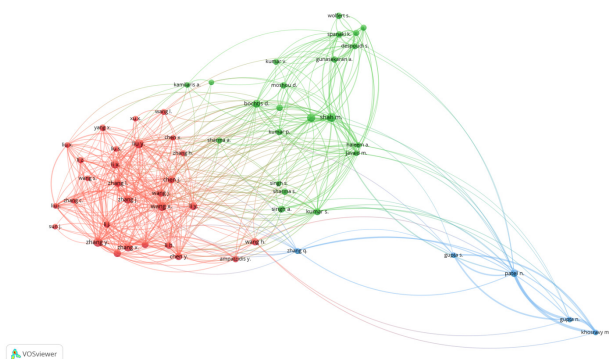
Por outro lado, algumas nações apresentam participação mais isolada. Camarões e México, por exemplo, possuem força de ligação zero, o que sugere que suas publicações não estão diretamente conectadas com outros países na rede de colaboração analisada. O Brasil, com 3 documentos publicados e 64 citações, registra uma força de ligação de apenas 1, indicando uma interação limitada no contexto global de coautoria. Esses padrões apontam para a necessidade de ampliar as parcerias internacionais para

fortalecer o intercâmbio científico e o impacto da pesquisa.

4.5 REDE DE COCITAÇÃO DE AUTORES

A análise da rede de cocitação de autores na produção científica sobre Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e agricultura revela uma distribuição desigual de influência e colaboração entre os autores, demonstrado na **Figura 6**.

Figura 6: Redes de cocitação de autores*



Fonte: Dados da pesquisa.

* Nota: De um total de 22045 países, 32 foram citados vintes ou mais vezes durante o período analisado.

A análise da rede de cocitação de autores na produção científica sobre Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e à agricultura revela uma distribuição desigual de influência e colaboração. Entre um total de 22.045 citações, 56 autores atendem ao critério mínimo de 20 citações, demonstrando um grupo seletivo com maior impacto acadêmico.

O autor com o maior número de citações é Shah, M., com 52 citações e uma força de ligação total de 942, indicando forte relevância na área de pesquisa e uma ampla conexão com outros pesquisadores. Outros autores com alta contagem de citações incluem Liu, Y. (50 citações, 1187 de força de ligação), Zhang, Y. (51 citações, 1000 de força de ligação) e Wang, X. (46 citações, 1078 de força de ligação), sugerindo que esses pesquisadores possuem influência significativa e colaboram ativamente dentro da rede acadêmica.

A força de ligação total, que reflete a intensidade da colaboração e da cocitação entre os autores, varia consideravelmente. Liu, Y. apresenta a maior força de ligação (1187), indicando forte conexão com outros pesquisadores. Wang, X. (1078) e Zhang, Y. (1000) também demonstram altos índices de ligação, reforçando a ideia de colaboração ativa e ampla referência em pesquisas relacionadas. Em contrapartida, alguns autores, como Wolfert, S. (231), Sun, J. (259) e Sharma, S.

(290), apesar de possuírem um número razoável de citações, apresentam menor interconectividade, sugerindo que suas pesquisas são frequentemente citadas, mas menos integradas a redes colaborativas.

A rede de colaboração acadêmica revela três *Clusters* principais. O *Cluster* vermelho concentra pesquisadores como Chen, J., Chen, X., Li, H., Wang, X. e Zhang, Y., formando um grupo altamente interconectado. Esse grupo foca na aplicação de inteligência artificial na agricultura e biotecnologia, especialmente na detecção de doenças em plantas e microrganismos. Zhang *et al.* (2023) desenvolveram um modelo baseado em aprendizado profundo para identificar doenças em folhas de macieiras em ambientes não controlados, contribuindo para um diagnóstico mais preciso e reduzindo o uso desnecessário de pesticidas. Além disso, Zhang *et al.* (2021) exploraram o uso da inteligência artificial para aprimorar a análise microscópica de microrganismos, permitindo diagnósticos mais rápidos e precisos. Essas pesquisas são fundamentais para o desenvolvimento de tecnologias automatizadas que aprimoram o monitoramento e a gestão sanitária das culturas agrícolas.

O *Cluster* verde reúne pesquisadores como Ampatzidis, Y., Bochtis, D., Despoudi, S., Gunasekaran, A., Sharma, A. e Singh, S., indicando um foco específico na aplicação da inteligência artificial para aumentar a produtividade agrícola. Esse grupo investiga técnicas para estimar a biomassa vegetal e otimizar a gestão de fertilizantes. Liu *et al.* (2019) analisaram o uso de drones equipados com sensores multiespectrais para prever a biomassa do cultivo de colza, possibilitando um monitoramento mais eficiente do crescimento das plantas. Além disso, Liu *et al.* (2020) estudaram estratégias para otimizar a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cultivos de arroz, com o objetivo de maximizar a produtividade e reduzir desperdícios. Complementando esses avanços, Li *et al.* (2022) utilizaram modelos de aprendizado de máquina para estimar o status nutricional do trigo de inverno, permitindo um manejo mais eficiente do solo e dos fertilizantes.

O *Cluster* azul inclui pesquisadores como Gupta, N., Haleem, A., Javaid, M., Khosravy, M. e Patel, N., caracterizando um grupo distinto, mas ainda interligado à rede acadêmica mais ampla. O foco desse *Cluster* está na automação agrícola e sustentabilidade, explorando o uso de inteligência artificial para aprimorar processos como irrigação e controle de pragas. Jha *et al.* (2019) revisaram as principais inovações tecnológicas aplicadas à agricultura, incluindo sistemas inteligentes para otimização da irrigação e monitoramento automatizado de pragas. No mesmo contexto, Talaviya *et al.* (2020) analisaram como sensores e drones podem ser utilizados para melhorar a aplicação de pesticidas e herbicidas, reduzindo custos operacionais e impactos ambientais. Além disso, Kumar *et al.* (2017) investigaram modelos de tomada de decisão multicritério voltados para o planejamento energético sustentável, contribuindo para a implementação de práticas agrícolas mais eficientes e ecologicamente responsáveis.

A presença de autores com alta força de ligação em diferentes *Clusters* sugere que há colaboração e cocitação entre os grupos, o que indica uma rede interconectada. Essa estrutura reforça a existência de núcleos bem estabelecidos na área, com algumas conexões entre grupos distintos, favorecendo o intercâmbio de conhecimento e o avanço da pesquisa em Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e à agricultura.

4.6 CITAÇÕES DE PERIÓDICOS

A análise da rede de citações de periódicos na pesquisa sobre Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e à agricultura revela uma distribuição desigual de impacto e colaboração, evidenciando a presença de periódicos com alta influência, mas baixa interconectividade, ilustrado na **Figura 7**.

Figura 7: Redes de citações de periódicos*



Fonte: Dados da pesquisa.

* Nota: De um total de 118 periódicos, 28 foram citados duas ou mais vezes durante o período analisado.

A análise da rede de citações evidencia a relevância de alguns periódicos na pesquisa científica, mesmo que apresentem pouca conexão direta com outros na rede analisada. O *Computers and Electronics in Agriculture* se destaca com 211 citações, demonstrando sua relevância na área, embora sua força de ligação zero indique que suas publicações são amplamente citadas, mas sem colaborações diretas significativas. Esse padrão também é observado em periódicos como *Agronomy* (188 citações, força de ligação 1) e *Sustainability (Switzerland)* (176 citações, força de ligação zero), reforçando a importância dessas revistas na pesquisa, apesar da baixa interconectividade com outros periódicos. O *Precision Agriculture* (144 citações) segue essa tendência, indicando influência na área sem necessariamente gerar conexões diretas com outros veículos científicos.

Figura 8: Principais Clusters de periódicos

Cluster 1 – vermelho



Cluster 2 – verde



Cluster 3 – azul



Cluster 4 – amarelo



Fonte: Dados da pesquisa.

A força de ligação total, que mede a colaboração entre periódicos, apresenta variações significativas. Vários periódicos, incluindo *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, *Agricultural Water Management* e *Sensors*, possuem força de ligação zero, o que sugere que, apesar de serem citados, suas publicações não compartilham referências diretas com outros periódicos da rede. Isso pode indicar uma independência temática ou uma menor sobreposição de pesquisas. Por outro lado, alguns periódicos, como *Artificial Intelligence in Agriculture* (4) e *Smart Agricultural Technology* (2), apresentam força de ligação baixa, evidenciando uma rede fragmentada, com *Clusters* pequenos e periódicos isolados.

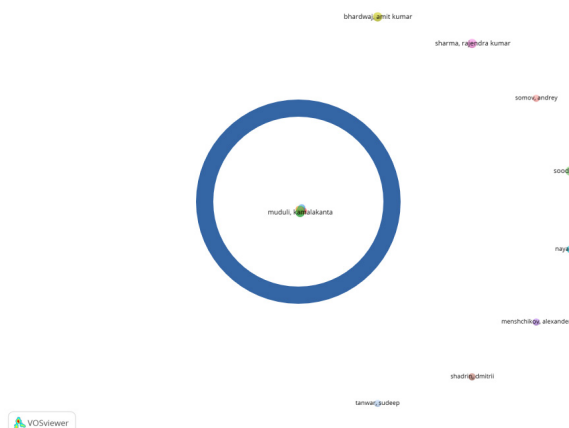
Essa estrutura indica que, embora muitos periódicos tenham um impacto relevante na pesquisa, a colaboração interinstitucional ainda é limitada. A presença de periódicos influentes operando de forma independente pode refletir uma diversidade temática na aplicação da IA ao agronegócio, bem como barreiras na comunicação científica entre áreas correlatas. O fortalecimento das conexões entre periódicos pode contribuir para uma maior integração do conhecimento, permitindo avanços mais coordenados na modernização e digitalização da agricultura.

4.7 MAPEAMENTO DE CITAÇÕES AUTORES

A análise da rede de citações na área de Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e à agricultura revela diferentes padrões de impacto e colaboração entre os pesquisadores. O autor

com maior número de citações é Despoudi, S., com 162 citações, indicando sua ampla influência e uma conexão moderada com outros trabalhos. Outros pesquisadores altamente citados incluem Menshchikov, A. e Shadrin, D., ambos com 159 citações, e Nayal, K., com 113 citações. Esses dados sugerem que, embora esses estudos tenham grande visibilidade na área, suas interações diretas com outras pesquisas são limitadas, indicando um impacto mais distribuído e independente dentro da rede acadêmica (**Figura 9**).

Figura 9: Redes citações de autores*



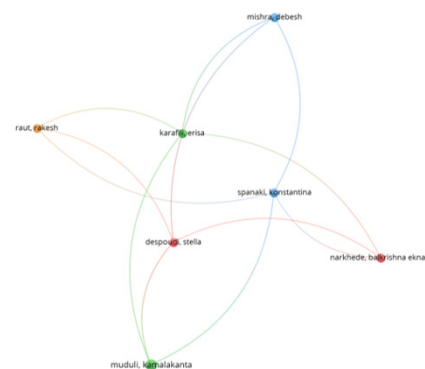
Fonte: Dados da pesquisa.

* Nota: De um total de 710 autores, 15 foram citados duas ou mais vezes durante o período analisado.

A análise da força de ligação total, que representa o grau de colaboração entre os pesquisadores, revela variações significativas na rede acadêmica. Autores como Despoudi, S., Karafilis, E., Muduli, K. e Spanaki, K. apresentam uma força de ligação de 6, indicando um nível moderado de colaboração dentro da comunidade científica. Em contraste, pesquisadores como Narkhede, B. E. e Raut, R. possuem uma força de ligação de 3, sugerindo um menor grau de interação direta com outros estudos. Já Mishra, D., com uma força de ligação de 6, reforça sua posição em um grupo interconectado de pesquisadores, evidenciando uma rede mais estruturada e colaborativa em torno desses autores. Essas diferenças apontam para distintos padrões de colaboração e influência na pesquisa sobre Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio e à agricultura.

A análise da rede de colaboração científica destaca três *Clusters* principais, cada um representando diferentes abordagens na aplicação de Inteligência Artificial e tecnologias emergentes no agronegócio e na agricultura de precisão, ilustrados na **Figura 10**.

Figura 10: Principais Clusters de citações de autores



Fonte: Dados da pesquisa.

O *Cluster Verde* reúne pesquisadores como Muduli, K., Bhardwaj, A. K., Sharma, R. K. e Sood, A., caracterizando um grupo de pesquisa coeso voltado para a otimização das cadeias de suprimentos agrícolas, previsão de demanda e sustentabilidade no setor. O estudo de Sharma *et al.* (2021) investiga a modelagem de dados para previsão da volatilidade dos mercados agrícolas, auxiliando na tomada de decisão estratégica para produtores e investidores. A pesquisa destaca o uso de modelos econométricos e aprendizado de máquina para prever tendências de mercado e mitigar riscos financeiros. Em continuidade, Sharma *et al.* (2023) analisam a relação entre mercados emergentes, *FinTechs* e IA, evidenciando a necessidade de adaptação tecnológica nas cadeias de suprimentos para reduzir vulnerabilidades durante crises globais, como a pandemia de COVID-19.

Além disso, a pesquisa de Almuflih *et al.* (2022) explora a dinâmica das cadeias de suprimentos agrícolas sustentáveis, destacando o papel da IA e de sistemas digitais integrados na otimização de fluxos logísticos, redução de desperdícios e aumento da resiliência operacional. Essa abordagem está alinhada ao estudo de Sood *et al.* (2023), que investiga a aplicação da IA na detecção e prevenção de fraudes financeiras, contribuindo para a modernização das transações comerciais no agronegócio digitalizado.

A convergência dessas pesquisas evidencia o papel crescente da digitalização e do uso de IA na agricultura moderna, promovendo uma abordagem mais preditiva e integrada para enfrentar desafios como sustentabilidade, eficiência produtiva e segurança financeira. Dessa forma, o *Cluster Verde* se destaca como um dos grupos mais influentes na interseção entre tecnologia, economia e sustentabilidade aplicada ao agronegócio.

O *Cluster Roxo* reúne pesquisadores como Narkhede, B. E. e Raut, R., representando um grupo de colaboração pontual, porém

altamente relevante no estudo de automação, rastreabilidade e digitalização dos processos agrícolas. O foco desse grupo está no desenvolvimento e implementação de tecnologias inteligentes para aprimorar a logística e a distribuição de produtos agrícolas, aumentando a eficiência no transporte e no rastreamento da produção. O estudo de Naya *et al.* (2022) explora a aplicação da inteligência artificial (IA) na mitigação de riscos na cadeia de suprimentos agrícola, ressaltando sua influência na previsibilidade, transparência e resiliência operacional. A pesquisa evidencia que a integração de IA, big data e aprendizado de máquina aprimora a rastreabilidade e reduz perdas logísticas, permitindo uma resposta mais ágil às oscilações de demanda e fornecimento de insumos, um aspecto essencial para lidar com crises globais.

Complementando essa abordagem, Saha *et al.* (2024) analisam os desafios e oportunidades relacionados à adoção de tecnologias digitais no agronegócio, destacando como *blockchain*, IoT e rastreamento em tempo real podem fortalecer a transparência, a eficiência operacional e a segurança alimentar. O estudo enfatiza a importância de infraestruturas tecnológicas robustas e regulamentações adequadas para garantir um fluxo contínuo e seguro de informações, promovendo confiança e sustentabilidade na cadeia produtiva agroalimentar. Além disso, pesquisas de Saha *et al.* (2024) e Naya *et al.* (2023b) aprofundam a aplicação do *blockchain* na rastreabilidade agroalimentar, destacando seus benefícios na transparência, redução de fraudes e otimização dos processos logísticos. Essa tecnologia garante acesso confiável a dados sobre a origem e qualidade dos alimentos, beneficiando produtores, distribuidores e consumidores.

As contribuições desse *Cluster* reforçam a relevância da digitalização e automação das cadeias de suprimentos agrícolas, promovendo maior eficiência operacional e sustentabilidade. A adoção de IA, *blockchain* e IoT na gestão logística tem o potencial de transformar a agricultura moderna, reduzindo desperdícios e otimizando a produção e distribuição de alimentos, consolidando esse *Cluster* como um núcleo fundamental para a inovação no agronegócio digital.

O *Cluster* Amarelo reúne pesquisadores como Somov, A., Shadrin, D., Menshchikov, A. e Tanwar, S., destacando-se pelo impacto na agricultura de precisão, automação agrícola e sistemas baseados em sensores e IoT. Embora seja um grupo com menor interconectividade, seus estudos oferecem contribuições relevantes para a modernização e eficiência do setor agrícola, explorando o uso de tecnologias avançadas de monitoramento, aprendizado de máquina e redes inteligentes de sensores. O trabalho de Shadrin, Menshchikov e Somov (2019) investiga a aplicação de sensores embarcados para o monitoramento em tempo real de cultivos, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e insumos. Essa abordagem viabiliza o desenvolvimento de modelos preditivos para a gestão agrícola, possibilitando a detecção precoce de falhas no cultivo, otimização do uso de fertilizantes e irrigação de precisão, contribuindo para aumento da produtividade e

redução de impactos ambientais.

Além disso, Somov *et al.* (2018) exploram a implementação de estufas inteligentes baseadas em IoT, onde algoritmos de aprendizado de máquina controlam temperatura, umidade e ventilação para criar condições ideais para o crescimento das plantas. A pesquisa demonstra como a digitalização e automação podem transformar a agricultura tradicional, tornando-a mais eficiente e sustentável e reduzindo o desperdício de recursos. Em outra abordagem, Naguji *et al.* (2024) analisam a integração de *blockchain* e inteligência artificial para melhorar a segurança, transparência e confiabilidade no registro de terras agrícolas na Indústria 5.0. O estudo propõe um modelo descentralizado que automatiza a validação de dados fundiários, reduzindo fraudes e otimizando a gestão de propriedades rurais, aprimorando a eficiência na tomada de decisões no setor agrícola.

Por fim, Somov *et al.* (2013) investigam a aplicação de redes de sensores sem fio para detecção de vazamento de gases agrícolas, tecnologia que pode ser adaptada para monitoramento ambiental e controle de emissões em atividades agrícolas e pecuárias. Essa linha de pesquisa reforça a importância da IoT para aumentar a segurança e a sustentabilidade das operações agrícolas. Os avanços propostos por esse *Cluster* demonstram o potencial da IA e da automação na agricultura de precisão, promovendo maior eficiência produtiva, sustentabilidade e segurança alimentar. A adoção de sensores inteligentes, redes IoT e aprendizado de máquina tem o potencial de transformar a forma como os cultivos são monitorados e gerenciados, contribuindo para redução de custos operacionais e impactos ambientais.

A análise da rede de citações revela que, embora diversos pesquisadores possuam influência significativa na interseção entre Inteligência Artificial, sustentabilidade e agricultura de precisão, a predominância de autores com força de ligação zero indica uma fragmentação na colaboração científica. Esse cenário sugere que, apesar da relevância individual de muitas pesquisas, a falta de integração entre os diferentes grupos pode limitar o impacto coletivo dos avanços no setor.

Essa dispersão na rede representa tanto um desafio quanto uma oportunidade para fortalecer conexões entre pesquisadores e fomentar colaborações interdisciplinares. A integração de estudos voltados para automação agrícola, aprendizado de máquina e logística digitalizada poderia impulsionar o desenvolvimento de soluções mais abrangentes e escaláveis, promovendo maior sinergia entre diferentes áreas de conhecimento. Além disso, o estímulo a projetos colaborativos poderia acelerar a adoção de tecnologias emergentes na Agricultura 4.0, consolidando a IA e sensores inteligentes como elementos-chave para um agronegócio mais eficiente, sustentável e produtivo.

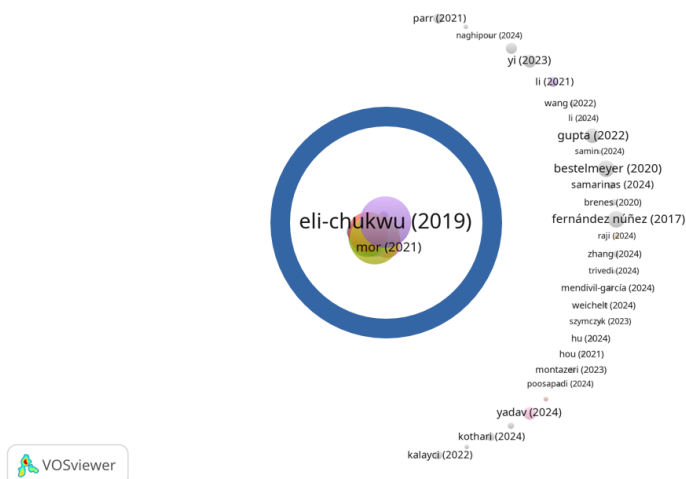
O fortalecimento dessas conexões tem o potencial de ampliar o impacto das pesquisas, permitindo que avanços tecnológicos sejam compartilhados de forma mais integrada e dire-

cionada às necessidades do setor agrícola. Criar um ambiente colaborativo mais estruturado pode facilitar o desenvolvimento de soluções inovadoras, promovendo um agronegócio mais resiliente e digitalizado, com aplicações que abrangem desde a otimização da produção até a sustentabilidade e segurança alimentar global.

4.8 CO ACOPLAMENTO DE DOCUMENTOS

A análise do coacoplamento de documentos revela padrões distintos de impacto e colaboração entre estudos acadêmicos. O documento Javaid *et al.* (2023) destaca-se como o mais citado, sugerindo sua relevância na área de pesquisa. Outros trabalhos influentes incluem Eli-Chukwu (2019), Ampatzidis *et al.* (2020) e Linaza *et al.* (2021), que também apresentam forte presença na rede de citações. A intensidade da ligação entre os documentos varia significativamente. Trabalhos como Mohr e Kühl (2021) e Sood (2022) possuem alta força de ligação, indicando que são frequentemente citados em conjunto com outros estudos, mesmo que não sejam os mais citados individualmente. Em contrapartida, vários documentos apresentam força de ligação zero, o que sugere que não compartilham referências diretas com outros artigos na rede analisada (Figura 11).

Figura 11: Co acoplamento de autores*



Fonte: Dados da pesquisa.

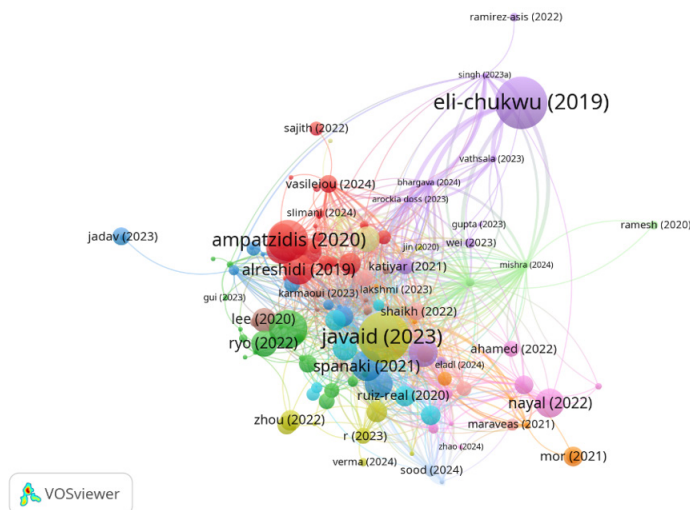
* Nota: De um total de 159 autores, 70 apareceram dez ou mais vezes durante o período analisado.

A análise descritiva da imagem apresenta um mapa de co-acoplamento de documentos científicos relacionados à pesquisa sobre Inteligência Artificial (IA) aplicada ao agronegócio e à agricultura. Esse tipo de análise permite identificar conexões entre autores, temas e publicações, destacando as redes de colaboração e as tendências emergentes no campo. O mapeamento

evidencia a interconectividade entre os pesquisadores, agrupados em *Clusters* distintos, representados pelas cores verde, vermelho, azul, azul-claro, amarelo e roxo. Esses agrupamentos refletem diferentes linhas de pesquisa dentro do campo de IA e sua aplicação na agricultura.

Na Figura 12, os nós representam autores, enquanto as conexões entre eles indicam a co-citação em publicações acadêmicas. A distribuição e o agrupamento desses nós sugerem que há uma concentração significativa de pesquisadores influentes, sendo que, de um total de 159 trabalhos analisados, 70 apareceram em dez ou mais publicações ao longo do período avaliado. Esse núcleo de especialistas tem desempenhado um papel central no avanço da IA aplicada ao setor agrícola, desenvolvendo metodologias e soluções que impactam diretamente a agricultura de precisão.

Figura 12: Principais autores cocitados



Fonte: Dados da pesquisa.

O *Cluster* Vermelho, que aborda IA e Agricultura de Precisão, apresenta pesquisas voltadas para o uso de drones (UAVs), sensores inteligentes e análise de imagens para otimizar o monitoramento de culturas. O estudo de Ampatzidis *et al.* (2020) desenvolveu o *Agroview*, uma plataforma baseada em IA que processa e analisa dados agrícolas capturados por drones, auxiliando na detecção de plantas e avaliação da saúde da vegetação. A pesquisa de Shadrin *et al.* (2020) propôs sensores de baixo consumo energético para monitoramento da agricultura, utilizando redes neurais recorrentes (LSTM) para prever o crescimento das folhas. Já Shadrin *et al.* (2019) desenvolveu um sistema embarcado de IA para detecção da germinação de sementes, empregando redes neurais convolucionais (CNNs). Por fim, Alreshidi (2019) apresentou um modelo de Agricultura Inteligente Sustentável (SSA), combinando IA e IoT para melhorar a interoperabilidade dos sistemas e o compartilhamento de dados agrícolas.

O *Cluster Azul*, que trata da Gestão e Compartilhamento de Dados Agrícolas, explora o uso da IA para aprimorar a segurança alimentar e a automação da cadeia produtiva. O estudo de Spanaki, Karafili e Despoudi (2021) desenvolveu um modelo de compartilhamento de dados baseado em IA, utilizando controle de acesso baseado em papéis (RBAC), permitindo a privacidade e a interoperabilidade das informações entre agricultores, fornecedores e consumidores. Já a pesquisa de Spanaki *et al.* (2021) analisou a aplicação de inteligência de enxame em drones agrícolas, otimizando o monitoramento remoto de fazendas e melhorando a eficiência logística do setor agroalimentar. Ambos os estudos demonstram como a IA pode ser uma ferramenta fundamental na modernização e digitalização da agricultura, promovendo maior integração e segurança na gestão de dados do setor.

O *Cluster Roxo*, que trata das Aplicações Gerais da IA na Agricultura, apresenta uma revisão abrangente sobre como a inteligência artificial pode ser utilizada para otimizar processos agrícolas. O estudo de Eli-Chukwu (2019) destaca a IA como uma ferramenta essencial para melhoria da produtividade, abordando aplicações no manejo do solo, controle de culturas, eliminação de ervas daninhas e gestão de doenças. A pesquisa enfatiza que a análise preditiva, a automação e a redução de custos operacionais são benefícios centrais da IA no setor agrícola. No entanto, desafios como a acessibilidade de sensores, o grande volume de dados a ser analisado e a resistência dos agricultores à adoção de novas tecnologias ainda precisam ser superados. Assim como outros estudos do *Cluster*, a pesquisa sugere que a IA pode mitigar problemas de produtividade, minimizar impactos ambientais e tornar o uso de recursos naturais mais eficiente.

O *Cluster Amarelo*, que trata do Uso da IA para Otimização da Produção Agrícola, explora como a inteligência artificial pode melhorar a eficiência no setor agrícola. O estudo de Javaid *et al.* (2023) destaca a aplicação da IA na previsão de safras, monitoramento da saúde das plantas e uso otimizado de pesticidas, além da automação agrícola por meio de drones e robôs. A pesquisa aponta que essas tecnologias podem aumentar a produtividade e reduzir custos operacionais, proporcionando uma agricultura mais eficiente e sustentável. No entanto, desafios como barreiras financeiras e a necessidade de capacitação técnica ainda dificultam a ampla adoção da IA no campo. O estudo reforça a importância do investimento em infraestrutura tecnológica e treinamento de agricultores para viabilizar a implementação dessas soluções de forma acessível e eficaz.

O *Cluster Verde*, que aborda a Sustentabilidade e Transparência dos Modelos de IA, explora como a inteligência artificial pode ser utilizada para otimizar a agricultura de precisão, garantindo maior compreensão e confiança nas previsões. O estudo de Linaza *et al.* (2021) investiga o uso da IA para sustentabilidade agrícola, focando na otimização do uso de insumos como água, fertilizantes e pesticidas, além do monitoramento inteligente das condições das plantações. A pesquisa destaca a importância de

sensores automatizados para aumentar a eficiência e reduzir impactos ambientais. Já o estudo de Ryo (2022) enfatiza a necessidade de Inteligência Artificial Explicável (XAI) e aprendizado de máquina interpretável, permitindo que os agricultores compreendam melhor as previsões feitas pelos modelos de IA. Ambos os estudos ressaltam que a transparência e a acessibilidade dos sistemas de IA são essenciais para garantir sua adoção ampla e eficaz no setor agrícola.

O *Cluster Laranja*, que trata da Aceitação da IA na Agricultura, investiga os fatores que influenciam a adoção dessas tecnologias pelos agricultores. O estudo de Mohr e Kuhl (2021) analisa a percepção dos produtores rurais em relação à IA, identificando barreiras para sua implementação, como resistência à mudança, custo das tecnologias e preocupações com a propriedade dos dados gerados. Utilizando o Modelo de Aceitação da Tecnologia (TAM) e a Teoria do Comportamento Planejado (TPB), a pesquisa explora como fatores psicológicos e sociais impactam a decisão dos agricultores de adotar sistemas baseados em inteligência artificial. O estudo destaca que a aceitação da IA não depende apenas de sua eficiência técnica, mas também de questões comportamentais e estruturais, tornando essencial o desenvolvimento de estratégias que facilitem sua adoção. A pesquisa reforça a necessidade de capacitação e políticas de incentivo para garantir a expansão da IA no setor agrícola.

O *Cluster Azul-Claro*, que trata dos Impactos Sociais, Éticos e Tendências de Pesquisa em IA Agrícola, analisa as implicações da inteligência artificial no setor, considerando desafios como regulamentação, privacidade de dados e aceitação da tecnologia. O estudo de Ryan (2023) explora os impactos sociais e éticos da IA na agricultura, destacando preocupações com transparência, justiça e sustentabilidade, além dos riscos de concentração de poder nas grandes corporações agroalimentares. A pesquisa enfatiza a necessidade de diretrizes para garantir um uso mais equitativo da tecnologia. Já o estudo de Ruiz-Real *et al.* (2020) realiza uma análise bibliométrica sobre a evolução da IA no setor agrícola, revisando milhares de publicações para identificar tendências passadas, presentes e futuras. A pesquisa destaca a relação entre IA, economia verde e mudanças climáticas, apontando a necessidade de mais estudos interdisciplinares para integrar essas áreas.

O *Cluster Lilás*, que trata da IA na Gestão da Cadeia de Suprimentos Agrícola, analisa como a inteligência artificial pode mitigar riscos e otimizar a logística do setor, especialmente em momentos de crise. O estudo de Nayal *et al.* (2022) investiga o impacto da IA na mitigação dos efeitos da pandemia da COVID-19, identificando três fatores essenciais para sua implementação: integração da cadeia de suprimentos, compartilhamento de informações e eficiência operacional. A pesquisa destaca o uso de modelos preditivos para antecipar demandas, reduzir desperdícios e melhorar a distribuição de produtos agrícolas. Já o estudo de Nayal *et al.* (2023a) aprofunda a análise da viabilidade da IA e do aprendizado de máquina na gestão agrícola, discutindo desafios regulatórios,

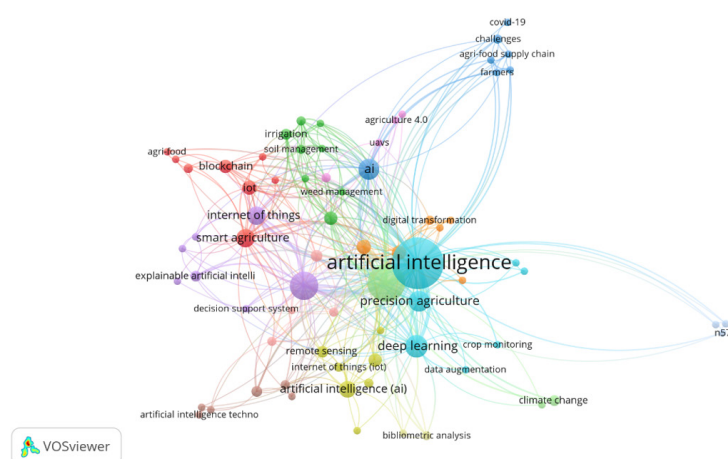
privacidade de dados e infraestrutura tecnológica. Ambos os estudos ressaltam que a digitalização e o uso de plataformas digitais e IoT podem aumentar a resiliência e eficiência das cadeias de suprimentos agrícolas.

A pesquisa sobre Inteligência Artificial na agricultura está em crescimento e sendo impulsionada por um conjunto de estudos que abrangem desde aplicações práticas até impactos sociais e regulatórios. A análise dos *Clusters* evidencia que a IA tem papel central na modernização do agronegócio, contribuindo para maior eficiência produtiva, redução dos impactos ambientais e aprimoramento da gestão da cadeia de suprimentos. No entanto, sua implementação enfrenta desafios como resistência dos agricultores, barreiras econômicas e regulatórias, além da necessidade de transparência e explicabilidade dos modelos utilizados. A interconexão entre os temas analisados demonstra que a pesquisa na área é multidisciplinar, relacionando tecnologia, sustentabilidade, governança de dados e segurança alimentar. Além disso, estudos como os de Ryan (2023) e Ruiz-Real *et al.* (2020) indicam que a regulamentação da IA será essencial para sua adoção responsável, enquanto pesquisas como as de Nayal *et al.* (2022; 2023a) reforçam sua importância na resiliência da cadeia produtiva. A aceitação da IA, abordada por Mohr e Kuhl (2021), está diretamente ligada à sua aplicabilidade, conforme analisado por Javaid *et al.* (2023). A relação entre automação agrícola e sustentabilidade, explorada por Ampatzidis *et al.* (2020) e Ryo (2022), destaca a necessidade de modelos acessíveis e confiáveis. Diante dessas constatações, o avanço da IA na agricultura dependerá de políticas claras, capacitação técnica e estratégias para garantir que os benefícios da tecnologia sejam amplamente distribuídos.

4.9 COCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE DO AUTOR

A análise da rede de coocorrência de palavras-chave oferece um panorama detalhado sobre as tendências de pesquisa na interseção entre agricultura e tecnologia. Os termos *artificial intelligence* e *agriculture* e destacam-se como os mais recorrentes, evidenciando o crescente uso de soluções tecnológicas para aprimorar práticas agrícolas. Além disso, *machine learning* e *deep learning* aparecem com relevância, refletindo o avanço das técnicas de análise de dados e tomada de decisão automatizada no setor. A presença de *precision agriculture* e *smart agriculture* indica a adoção de práticas mais eficientes, impulsionadas por sensores, conectividade e automação. A **Figura 13** de coocorrência, ilustra essas relações, evidenciando que a maioria dos estudos analisados se concentra na aplicação da IA na agricultura, com forte conexão entre inteligência artificial, agricultura de precisão e aprendizado de máquina para otimização dos processos produtivos.

Figura 13: Redes de palavras-chave pelos autores*



Fonte: Dados da pesquisa.

* Nota: Das 506 palavras-chave dos autores, 72 aparecem pelo menos 2 vezes

Das 506 palavras-chave analisadas, 72 aparecem pelo menos duas vezes. A **Figura 13** exibe um mapa de coocorrência de palavras-chave do autor, evidenciando os principais termos utilizados na pesquisa sobre Inteligência Artificial na Agricultura e suas interconexões. Os termos mais recorrentes são *artificial intelligence* (92 ocorrências) e *agriculture* (48 ocorrências), ambos posicionados no centro do mapa e conectando diversos *Clusters* temáticos. Essa análise demonstra uma estrutura interdisciplinar que abrange desde agricultura de precisão e sustentabilidade até aprendizado de máquina, Internet das Coisas (IoT) e governança de dados, indicando a diversidade de abordagens e aplicações tecnológicas no setor agrícola.

O *Cluster* Azul-Marinho, que trata da agricultura de precisão e aprendizado profundo, destaca o uso de *deep learning*, *crop monitoring*, *data augmentation* e *AI ethics*, evidenciando o emprego de modelos avançados para monitoramento agrícola, análise de imagens e otimização da produção. O *Cluster* Azul-Claro, voltado para a adoção tecnológica e modernização do setor agropecuário, inclui termos como *precision agriculture*, *technology adoption* e *digital transformation*, demonstrando o impacto da tecnologia na agricultura. O *Cluster* Verde Claro, relacionado à sustentabilidade e impacto ambiental, conecta palavras como *climate change*, *crop yield prediction* e *agriculture*, mostrando como a IA contribui para mitigar mudanças climáticas e prever safras. O *Cluster* Verde, por sua vez, aborda práticas agrícolas sustentáveis e gestão de cultivos, destacando *irrigation*, *pesticides*, *crop management* e *soil management*, reforçando a eficiência da IA no manejo de recursos naturais e na produção agrícola sustentável.

O *Cluster* Roxo, que trata da Internet das Coisas (IoT) e aprendizado de máquina, destaca o papel da IA na digitalização da agricultura, com termos como *machine learning*, *internet of things*, *explainable artificial intelligence* (XAI) e *decision support system*,

ênfase na importância da interpretação de dados e apoio à tomada de decisões. O *Cluster Roxo Claro*, relacionado à conectividade e compartilhamento de dados, inclui palavras como *agriculture 4.0*, *data sharing*, *UAVs* e *cloud computing*, demonstrando como a modernização do setor depende da integração de tecnologias digitais. O *Cluster Vermelho*, voltado para segurança de dados e rastreabilidade agrícola, aborda termos como *blockchain*, *IoT*, *agri-food* e *precision farming*, ressaltando a transparência e eficiência da cadeia produtiva. O *Cluster Amarelo*, que trata da explicabilidade e aceitação da IA, reúne conceitos como *artificial intelligence* (AI), *food security*, *sustainable agriculture* e *adoption*, reforçando a necessidade de tornar a tecnologia mais acessível. Os *Clusters Marrom e Bege*, relacionados à visão computacional, robótica e análise de dados, destacam termos como *computer vision*, *remote sensing* e *robotics*, evidenciando a automação agrícola. O *Cluster Laranja*, voltado para eficiência energética e digitalização do setor, conecta *energy efficiency*, *environment*, *smart farming* e *image processing*, apontando o impacto da IA na sustentabilidade. A interligação entre esses *Clusters* demonstra uma pesquisa integrada, explorando o equilíbrio entre eficiência produtiva, impacto ambiental e governança de dados.

A análise do mapa de coocorrência de palavras-chave evidencia o papel crescente da Inteligência Artificial na Agricultura, com impacto significativo na automação, sustentabilidade e segurança alimentar. O *Cluster Azul Marinho*, voltado para a agricultura de precisão e aprendizado profundo, destaca o uso de *deep learning* e *crop monitoring* para otimização da produção agrícola. O *Cluster Verde Claro*, associado à sustentabilidade e mudanças climáticas, conecta termos como *climate change* e *crop yield prediction*, demonstrando como a IA pode contribuir para a gestão eficiente dos recursos naturais. O *Cluster Roxo*, que trata da Internet das Coisas e aprendizado de máquina, inclui *machine learning* e *IoT*, refletindo a digitalização do setor agropecuário e sua influência na tomada de decisão. O *Cluster Vermelho*, focado em segurança de dados e rastreabilidade agrícola, evidencia a importância do *blockchain* e *precision farming* para garantir maior transparência na cadeia produtiva.

A análise das conexões entre os temas reforça o papel da Inteligência Artificial na Agricultura, evidenciando sua contribuição para a automação, eficiência produtiva e sustentabilidade. Termos focados em aprendizado profundo e agricultura de precisão, demonstram como a IA é utilizada para monitoramento de culturas e otimização do manejo agrícola. Nota-se termos associados à sustentabilidade e mudanças climáticas, destacando o uso da tecnologia para minimizar impactos ambientais e prever padrões climáticos, tornando a produção mais resiliente. A presença de termos como *food security*, COVID-19 e *agri-food supply chain* ressalta a aplicação da IA na segurança alimentar e na adaptação a crises globais, garantindo maior estabilidade nas cadeias produtivas. Além disso, termos que tratam da Internet das Coisas e governança de dados, reforça a importância da conectividade e do compartilhamento de

informações na modernização do setor.

As tendências emergentes indicam que a explicabilidade da IA e a governança de dados são aspectos fundamentais para a aceitação dessas tecnologias no agronegócio. Modelos como *explainable AI* e *decision support systems* são cada vez mais discutidos para garantir maior transparência e confiabilidade. Além disso, o uso de *blockchain* para rastreabilidade da produção agrícola vem ganhando espaço como solução para segurança de dados e eficiência logística. No campo da automação e robótica, a implementação de drones, sensores inteligentes e visão computacional tem aprimorado práticas agrícolas, permitindo maior precisão na detecção de pragas e no uso de insumos. A convergência dessas tecnologias aponta para um cenário no qual a IA poderá equilibrar eficiência produtiva e sustentabilidade, promovendo maior acessibilidade e confiabilidade na tomada de decisões.

Diante dessas perspectivas, novas oportunidades de pesquisa surgem na integração da IA com modelos preditivos climáticos, permitindo que agricultores ajustem suas estratégias de cultivo diante das mudanças ambientais. O avanço da agricultura digital e da inteligência de dados também se destaca como um fator essencial para aumentar a adoção da IA no campo. Além disso, o desenvolvimento de sistemas de IA mais acessíveis e adaptáveis às realidades agrícolas locais pode impulsionar a modernização do setor, garantindo que pequenos e grandes produtores possam se beneficiar dessas inovações. O futuro da IA na agricultura dependerá de um equilíbrio entre inovação tecnológica, governança responsável e sustentabilidade, criando soluções que atendam às demandas globais e regionais de forma eficaz.

4.10 MAPEAMENTO DAS REDES DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO AGRONEGÓCIO E AGRICULTURA

Nos últimos anos, o uso da Inteligência Artificial (IA) no agronegócio e na agricultura tem atraído crescente interesse da comunidade científica. O aumento do número de publicações sobre o tema demonstra como a tecnologia tem se tornado um componente essencial para a modernização do setor. No entanto, a análise das redes de colaboração revela que a conectividade entre pesquisadores, instituições e países ainda é limitada. A pesquisa tende a ocorrer em grupos isolados, com poucos vínculos entre diferentes áreas de estudo. Essa segmentação pode dificultar a troca de conhecimento e reduzir o impacto global das inovações desenvolvidas.

Entre os pesquisadores mais influentes na área, destacam-se Shah, M., Liu, Y. e Zhang, Y., cujos estudos exploram o potencial da IA para otimizar a produtividade agrícola, identificar doenças em plantas e desenvolver modelos preditivos avançados.

Além disso, trabalhos como os de Spanaki *et al.* (2021) e Javaid *et al.* (2023) vêm contribuindo significativamente para discussões sobre governança de dados, automação agrícola e sustentabilidade. No cenário institucional, a *Aston Business School* e a *University of Western Macedonia* aparecem entre as mais relevantes, devido à alta quantidade de publicações e citações. Outros centros de pesquisa, como o *Center for Computational and Data-Intensive Science and Engineering* (CDISE) do *Skolkovo Institute of Science and Technology*, também têm se destacado, embora com menor integração a redes colaborativas.

A distribuição da produção científica no contexto global mostra que a Índia lidera em número de publicações, seguida por Estados Unidos e China. No entanto, a Alemanha se destaca pelo impacto de suas pesquisas, medido pelo número de citações recebidas. Isso indica que, além da quantidade de estudos publicados, a influência acadêmica da pesquisa também desempenha um papel crucial na evolução do campo. Essa distribuição desigual evidencia a necessidade de maior colaboração entre países para impulsionar avanços tecnológicos e promover o compartilhamento de conhecimento de forma mais ampla.

Entre as principais tendências observadas, o uso de aprendizado de máquina e aprendizado profundo vem se consolidando como ferramenta essencial para análise de grandes volumes de dados agrícolas. A agricultura de precisão, impulsionada por sensores inteligentes e drones, também ganha relevância, permitindo um manejo mais eficiente das lavouras. Outra tendência promissora é a adoção de *blockchain* para rastreabilidade agroalimentar, garantindo maior transparência e segurança nas cadeias produtivas. No entanto, apesar desses avanços, desafios como alto custo de implementação, falta de infraestrutura tecnológica e resistência à adoção da IA por parte dos produtores rurais ainda limitam a disseminação dessas inovações.

Diante desse cenário, algumas áreas emergentes vêm ganhando destaque na pesquisa científica. A Inteligência Artificial Explicável (XAI) surge como uma necessidade, à medida que os modelos se tornam mais complexos e exigem maior transparência para garantir a confiança dos agricultores. A integração da IA com modelos preditivos climáticos também representa um avanço importante, ajudando a mitigar os impactos das mudanças ambientais. Além disso, a segurança de dados na agricultura, por meio do *blockchain*, vem sendo explorada para garantir confiabilidade e eficiência na gestão da informação. Outras áreas em crescimento incluem o uso de sensores inteligentes, automação robótica e plataformas para compartilhamento de dados agrícolas.

Esses avanços demonstram o papel central da IA na transformação do agronegócio, trazendo novas possibilidades para um setor mais eficiente e sustentável. No entanto, para que essas tecnologias sejam amplamente adotadas, será fundamental superar desafios técnicos, econômicos e regulatórios. A promoção de maior colaboração entre pesquisadores, instituições e governos

pode ser determinante para acelerar a implementação dessas soluções e garantir que a agricultura digital se torne acessível a diferentes realidades produtivas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor agrícola passa por uma transformação sem precedentes, impulsionada pelo avanço das tecnologias digitais, especialmente a Inteligência Artificial (IA). A adoção da Agricultura de Precisão e de sistemas inteligentes possibilita a coleta, armazenamento e análise de grandes volumes de dados, otimizando a produção e aprimorando a tomada de decisões. Este estudo mapeou as redes de pesquisa sobre IA no agronegócio, analisando a evolução da produção científica, colaborações entre pesquisadores e instituições, além das principais tendências e desafios do setor.

A análise bibliométrica revelou um crescimento expressivo das publicações a partir de 2019, impulsionado pela digitalização do setor e pela busca por inovação. Entre as principais aplicações da IA na agricultura, destacam-se o aprendizado de máquina para previsão de safras, sensores inteligentes para monitoramento em tempo real e *blockchain* para rastreabilidade agroalimentar. No entanto, identificou-se uma rede de colaboração fragmentada, com *Clusters* isolados e baixa interação entre grupos de pesquisa, o que pode dificultar a disseminação do conhecimento e o avanço tecnológico integrado.

Apesar dos benefícios evidentes da IA, sua implementação ainda enfrenta desafios, como infraestrutura tecnológica limitada em áreas rurais, custos elevados, necessidade de capacitação dos produtores e questões de privacidade e governança de dados. Para superar essas barreiras, é essencial o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a colaboração interdisciplinar, o investimento em infraestrutura e a padronização de sistemas.

Os achados deste estudo apontam para um futuro promissor, no qual a IA pode tornar a agricultura mais eficiente, sustentável e acessível. A implementação bem-sucedida dessas tecnologias exigirá esforços conjuntos entre governos, empresas e pesquisadores, garantindo que os avanços beneficiem toda a cadeia produtiva de forma equitativa.

Referências

ALMUFLIH, A. S.; SHARMA, J.; TYAGI, M.; BHARDWAJ, A.; QURESHI, M. R. N. M.; KHAN, N. Leveraging the Dynamics of Food Supply Chains towards Avenues of Sustainability. *Sustainability*, v. 14, n. 12, p. 6958, 2022.

- ALRESHIDI, E. Smart Sustainable Agriculture (SSA) solution underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 10, n. 5, p. 93-102, 2019.
- AMPATZIDIS, Y.; PARTEL, V.; COSTA, L. Agrovieview cloud-based application to process, analyze and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence. 2020.
- BARYANNIS, G.; VALIDI, S.; DANI, S.; ANTONIOU, G. Supply chain risk management and artificial intelligence: State of the art and future research directions. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2179-2202, 2019.
- BENOS, L.; KALATZIS, N.; TAGARAKIS, A. C.; DOLIAS, G.; BERRUTO, R.; KATERIS, D.; BOCHTIS, D. Machine learning in agriculture: A comprehensive updated review. **Sensors**, v. 21, n. 10, p. 3758, 2021.
- BHAT, S. A.; HUANG, N. F. Big data and AI revolution in precision agriculture: Survey and challenges. **IEEE Access**, v. 9, p. 110209-110222, 2021.
- CANEPPELE, N. R.; SHIGAKI, H. B.; RAMOS, H. R.; RIBEIRO, I. A utilização do software VOSviewer em Pesquisas Científicas. **Iberoamerican Journal of Strategic Management (IJSJM)**, v. 22, n. 1, p. e24970, 2023.
- CUBRIC, M. Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in business and management: A tertiary study. **Technology in Society**, v. 62, p. 101257, 2020.
- ELI-CHUKWU, N. C. Applications of artificial intelligence in agriculture A review. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 9, n. 4, p. 4377-4383, 2019.
- GUPTA, M.; ABDELSALAM, M.; KHORSANDROO, S.; MITTAL, S. Security and privacy in smart farming: Challenges and opportunities. **IEEE Access**, v. 8, p. 34564-34584, 2020.
- JADAV, N. K.; RATHOD, T.; GUPTA, R.; TANWAR, S.; KUMAR, N.; ALKHAYYAT, A. Blockchain and artificial intelligence-empowered smart agriculture framework for maximizing human life expectancy. **Computers and Electrical Engineering**, v. 105, p. 108486, 2023.
- JAVAI, M.; HALEEM, A.; HALEEM KHAN, I.; SUMAN, R. Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. **Advanced Agrochem**, v. 2, n. 1, p. 15-30, 2023.
- JHA, K.; DOSHI, A.; PATEL, P.; SHAH, M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 2, p. 1-12, 2019.
- KAMILARIS, A.; PRENAFETA-BOLDÚ, F. X. Deep learning in agriculture: A survey. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 147, p. 70-90, 2018.
- KUMAR, A.; SAH, B.; SINGH, A. R.; DENG, Y.; HE, X.; KUMAR, P. A review of multi-criteria decision-making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 596-609, 2017.
- LI, Y.; MIAO, Y.; ZHANG, J.; CAMMARANO, D.; LI, S.; LIU, X.; TIAN, Y.; ZHU, Y.; CAO, W.; CAO, Q. Improving estimation of winter wheat nitrogen status using random forest by integrating multi-source data across different agro-ecological zones. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.
- LINAZA, M. T.; POSADA, J.; BUND, J.; MOYSIADIS, T.; LUCAT, L. Data-driven artificial intelligence applications for sustainable precision agriculture. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1227, 2021.
- LIU, Y.; LIU, S.; LI, J.; GUO, X.; WANG, S.; LU, J. Estimating biomass of winter oilseed rape using vegetation indices and texture metrics derived from UAV multispectral images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 166, 2019.
- LIU, Y.; ZHU, X.; HE, X.; LI, C.; CHANG, T.; CHANG, S.; ZHANG, H.; ZHANG, Y. Scheduling of nitrogen fertilizer topdressing during panicle differentiation to improve grain yield of rice with a long growth duration. **Scientific Reports**, v. 10, 2020.
- LUSTOSA, M. de M.; FARIAS, M. G. G.; FARIAS, G. B. de. Inteligência artificial e comunicação científica: Uma revisão sistemática. **Brazilian Journal of Information Science - Research Trends**, v. 18, publicação contínua, p. e024004, 2024.

- MENDES, J. A. J.; BUENO, L. O.; OLIVEIRA, A. Y.; GEROLAMO, M. C. Agriculture startups (AgTechs): A bibliometric study. **International Journal of Professional Business Review**, v. 7, n. 1, p. 01-18, 2022.
- MISHRA, D.; MUDULI, K.; RAUT, R.; NARKHEDE, B. E.; SHEE, H.; JANA, S. K. Challenges facing artificial intelligence adoption during COVID-19 pandemic: An investigation into the agriculture and agri-food supply chain in India. **Sustainability**, v. 15, n. 8, p. 6377, 2023.
- MOHR, S.; KÜHL, R. Acceptance of artificial intelligence in German agriculture An application of the technology acceptance model and the theory of planned behavior. **Precision Agriculture**, v. 22, n. 6, p. 18, 2021.
- NAGUJI, F.; KUMAR JADAV, N.; TANWAR, S.; ALQAHTANI, F.; TOLBA, A. GreenLand: A Secure Land Registration Scheme for Blockchain and AI-Enabled Agriculture Industry 5.0. **IEEE Access**, v. 12, p. 120994-121009, 2024.
- NAYAL, K.; RAUT, R. D.; QUEIROZ, M. M.; YADAV, V. S.; NARKHEDE, B. E. Are artificial intelligence and machine learning suitable to tackle the COVID-19 impacts? An agriculture supply chain perspective. **International Journal of Logistics Management**, v. 34, n. 2, p. 304-335, 2023a.
- NAYAL, K.; RAUT, R. D.; NARKHEDE, B. E.; PANCHAL, G. B.; GEDAM, V. V. Antecedents for blockchain technology-enabled sustainable agriculture supply chain. **Annals of Operations Research**, v. 327, n. 1, p. 293-337, 2023b.
- NAYAL, K.; RAUT, R.; PRIYADARSHINEE, P.; KAZANCOGLU, Y.; NARWANE, V. Exploring the role of artificial intelligence in managing agricultural supply chain risk to counter the impacts of the COVID-19 pandemic. **International Journal of Logistics Management**, v. 33, n. 3, p. 744-772, 2022.
- RUIZ-REAL, J. L.; URIBE-TORIL, J.; TORRES ARRIAZA, J. A.; DE PABLO VALENCIANO, J. A look at the past, present and future research trends of artificial intelligence in agriculture. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1839, 2020.
- RYAN, M. The social and ethical impacts of artificial intelligence in agriculture_ mapping the agricultural AI literature. **AI and Society**, v. 38, n. 6, p. 2473-2485, 2023.
- RYO, M. Explainable artificial intelligence and interpretable machine learning for agricultural data analysis. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 6, p. 257-265, 2022.
- SAHA, A.; RAUT, R. D.; KUMAR, M.; PAUL, S. K.; CHEIKHROUHO, N. The intention of adopting blockchain technology in agri-food supply chains: evidence from an Indian economy. **Journal of Modelling in Management**, v. 19, n. 6, p. 1959-1988, 2024.
- SAIZ-RUBIO, V.; ROVIRA-MÁS, F. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. **Agronomy**, v. 10, n. 207, 2020.
- SHADRIN, D.; MENSCHCHIKOV, A.; ERMILOV, D.; SOMOV, A. Designing future precision agriculture: Detection of seeds germination using artificial intelligence on a low-power embedded system. **IEEE Sensors Journal**, v. 19, n. 23, p. 11573-11582, 2019.
- SHADRIN, D.; MENSCHCHIKOV, A.; SOMOV, A.; BORNEMANN, G.; HAUSLAGE, J.; FEDOROV, M. Enabling precision agriculture through embedded sensing with artificial intelligence. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 69, n. 7, p. 4103-4113, 2020.
- SHARMA, R.; AGGARWAL, V.; DIXIT, N.; YADAV, M. P. Time and frequency connectedness among emerging markets and QGREEN, FinTech, and artificial intelligence-based index: Lessons from the outbreak of COVID-19. **Vision**, v. 34, n. 1, p. 23-42, 2023.
- SHARMA, S.; AGGARWAL, V.; YADAV, M. P. Comparison of linear and non-linear GARCH models for forecasting volatility of select emerging countries. **Journal of Advances in Management Research**, v. 18, n. 4, p. 526-547, 2021.
- SILVA, L. B. da; SILVA, M. A. da R.; ALMEIDA, L. de A. Alguns apontamentos teóricos e conceituais para reflexões em governança eletrônica por meio de mapas bibliométricos e revisão sistemática. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 20, n. 61, 2024.
- SOMOV, A.; BARANOV, A.; SPIRJAKIN, D.; SLEPTSOV, V.; PASSERONE, R. Deployment and evaluation of a wireless sensor network for methane leak detection. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 202, p. 217-225, 2013.

- SOMOV, A.; SHADRIN, D.; MENSCHCHIKOV, A. Pervasive agriculture: IoT-enabled greenhouse for plant growth control. **IEEE Pervasive Computing**, v. 17, n. 4, p. 65-75, 2018.
- SOOD, A.; SHARMA, R. K.; BHARDWAJ, A. K. Artificial intelligence research in agriculture: A review. **Online Information Review**, v. 46, n. 6, p. 1054–1075, 2022.
- SOOD, P.; SHARMA, C.; NIJER, S.; SAKHUJA, S. Review the role of artificial intelligence in detecting and preventing financial fraud using natural language processing. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 14, n. 6, p. 2120-2135, 2023.
- SPANAKI, K.; KARAFILI, E.; DESPOUDI, S. AI applications of data sharing in agriculture 4.0: A framework for role-based data access control. **International Journal of Information Management**, v. 59, p. 102350, 2021.
- SPANAKI, K.; KARAFILI, E.; SIVARAJAH, U.; DESPOUDI, S.; IRANI, Z. Artificial intelligence and food security: Swarm intelligence of AgriTech drones for smart AgriFood operations. **Production Planning & Control**, v. 33, n. 16, p. 1498-1516, 2021.
- TALAVIYA, T.; SHAH, D.; PATEL, N.; YAGNIK, H.; SHAH, M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 4, p. 58-73, 2020.
- TEY, Y. S.; BRINDAL, M. A meta-analysis of factors driving the adoption of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 23, p. 353-372, 2022.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSviewer manual**. Leiden University. 2023. Disponível em: <https://www.vosviewer.com>.
- VAN KLOMPENBURG, T.; KASSAHUN, A.; CATAL, C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 177, p. 105709, 2020.
- ZHANG, Y.; JIANG, H.; YE, T.; JUHAS, M. Deep learning for imaging and detection of microorganisms. **Trends in Microbiology**, v. 29, p. 569-572, 2021.
- ZHANG, Y.; ZHOU, G. X.; CHEN, A. B.; HE, M. F.; LI, J.; HU, Y. H. A precise apple leaf diseases detection using BCTNet under unconstrained environments. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 17, n. 3, p. 237-249, 2023.