

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA LORA NA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Levi Dias Moreira⁽¹⁾
Juliana Lobo Paes⁽²⁾
Joel Carlos Zukowski Junior³

Resumo – O presente trabalho investiga a produção científica recente sobre a integração da rede de longo alcance e baixo consumo de energia conhecida como LoRaWAN com práticas de agricultura de precisão no contexto da Indústria 4.0. O estudo, baseado em dados da Scopus, foi analisado por meio do *software* VOSviewer, abrangendo publicações no período entre 2018 e 2025. Foram mapeados autores, redes de colaboração, tendências temáticas e lacunas de pesquisa. Os resultados mostraram um crescimento significativo no número de publicações sobre LoRa para aplicações como medição de umidade do solo, irrigação automatizada e monitoramento ambiental. Entre os principais desafios identificados estão a alimentação elétrica do sistema em áreas remotas, ou seja, sem a cobertura da distribuição convencional de energia elétrica para alimentar sistemas e sensores, a confiabilidade do sinal, a cobertura em áreas rurais e a integração de dados. Apesar dos desafios, evidenciou-se que a tecnologia LoRa é fundamental para avanços na agricultura de precisão sustentável. Assim sendo, ao evidenciar lacunas de pesquisa e apontar direções, enfatizando LoRa como tecnologia-chave na agricultura digital, este trabalho contribui de forma significativa.

Palavras-chave: automação; colaboração; sensor; sensoriamento; sustentabilidade.

Abstract – This study investigates the recent scientific production on the integration of LoRaWAN, a long-range and low-power consumption network, with precision agriculture practices within the context of Industry 4.0. Based on data from Scopus, the study was analyzed using VOSviewer software, covering publications from 2018 to 2025. The analysis mapped authors, collaboration networks, thematic trends, and research gaps. The results revealed a significant growth in the number of publications on LoRa for applications such as soil moisture measurement, automated irrigation, and environmental monitoring. Key challenges identified include the power supply for systems in remote areas without conventional electrical grid coverage, signal reliability, rural coverage, and data integration. Despite these challenges, the evidence confirms that LoRa technology is fundamental for advances in sustainable precision agriculture. By highlighting research gaps and pointing to future directions, this work significantly contributes to the field, emphasizing LoRa as a key technology for digital farming.

Keywords: automation; collaboration; sensor; sensing; sustainability.

Introdução

A demanda mundial por alimentos consolida o setor agropecuário como protagonista da economia global, especialmente no contexto brasileiro. Em 2018, o agronegócio brasileiro já contribuía com 21,1% para a formação do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. No entanto, a análise da participação setorial direta, por si só,

¹ Engenheiro Eletricista Levi Dias Moreira, Pós-graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema de automação, Mestrando em Agroenergia Digital na Universidade Federal do Tocantins. levi.moreira@mail.uft.edu.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3897565980798723>.

² Professora Dra. Juliana Lobo Paes, docente permanente no Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal de Tocantins. juliana.lobop@gmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8567579362150921>.

³ Professor Dr. Joel Carlos Zukowski Junior, docente permanente nos programas de pós-graduação em Agroenergia digital, Mestrado profissional em Engenharia Ambiental e Mestrado Profissional em Rede em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. zukowski@uft.edu.br. <http://lattes.cnpq.br/0062084279231594>.

não é eficaz para capturar a totalidade de sua influência na economia. Por meio da metodologia das Matrizes de Insumo-Produto (MIP), é possível mensurar como a produção do agronegócio expande para outros setores, estimulando cadeias a montante como a indústria de fertilizantes, máquinas agrícolas e serviços de pesquisa e a jusante como os complexos industriais de alimentos, biocombustíveis e têxtil. Dessa forma, o agronegócio se consolida não apenas como um segmento de peso isolado, mas como um grande protagonista dinâmico e integrador (LUZ; FOCHEZATTO, 2023).

Contudo, o setor agrícola ainda enfrenta grandes desafios, que vão desde a adaptação de culturas em regiões que não são naturalmente propícias para determinadas espécies até os impactos de desastres ambientais e variações climáticas. Com o intuito de superar essas adversidades, os diversos saberes científicos, especialmente as engenharias, aliados às tecnologias da Indústria 4.0 têm redesenhado processos produtivos, promovendo a coleta e a análise contínua de dados, sua digitalização, além da automação e do uso de sistemas de informação. Na agricultura, esse avanço manifesta-se na agricultura de precisão, em que redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks*) e sensores de nutrientes (NPK), combinados à análise de dados, permitem o monitoramento em tempo real do solo e do ambiente, apoiando decisões que otimizam o uso de recursos naturais e aumentam a produtividade (MUSA; SUGERU; WIBOWO, 2024).

Nesse cenário, a tecnologia LoRa/LoRaWAN surge como ferramenta promissora para concretizar os objetivos da Indústria 4.0 no setor agrícola. Pesquisadores renomados demonstram, por meio de protótipos e experimentos práticos, a viabilidade técnica do paradigma da Rede de Área Ampla de Baixa Potência LPWAN para supervisão, monitoramento remoto e gerenciamento de recursos em áreas rurais, incluindo integração com outras tecnologias sem fio e aplicações para monitoramento de recursos hídricos/irrigação (Lloret *et al.*, 2021).

Apesar da evolução tecnológica, a adoção em larga escala dessas soluções ainda depende da superação de limitações operacionais, de usabilidade e econômicas, que permanecem como prioridade para a pesquisa aplicada e interdisciplinar.

Embora tenha havido um crescimento rápido de aplicações baseadas em LoRa/LoRaWAN, a literatura analisada revelou uma preferência pela aplicabilidade geral do protocolo no ecossistema IoT; ao passo que persiste a necessidade explícita de investigações voltadas à integração com arquiteturas de Computação de Borda (*Edge*) e Computação de Névoa (*Fog*) e a questões de interoperabilidade entre LoRa e outras tecnologias IoT, lacunas fundamentais para a resolução de problemas de escalabilidade, latência e processamento distribuído de dados (Sarker *et al.*, 2019).

Diante desse cenário, o presente estudo realizou uma análise bibliométrica da literatura sobre a aplicação da tecnologia LoRa/LoRaWAN, predominantemente na base Scopus, buscou-se mapear autores e temas mais relevantes, com isso foi possível evidenciar essas fragilidades de investigação.

Métodos

A base de dados utilizada foi a Scopus. As buscas foram realizadas com a combinação das seguintes palavras: "LoRa", "LoRaWAN" e "*precision agriculture*". Os documentos encontrados foram exportados no formato CSV e analisados com o auxílio do *software* VOSviewer, conseqüentemente, permitiu a construção de mapas de coautoria, redes de ocorrência de palavras-chave e a avaliação da distribuição

temporal e geográfica das publicações. Para esta análise foram consideradas publicações no período entre 2018 e 2025.

O estudo adotou a abordagem bibliométrica, utilizando a Scopus como base de dados. A estratégia inicial passou por várias recombinações até chegar-se à *string* de busca final: (("LoRa" OR "LoRaWAN") AND TITLE-ABS-KEY ("precision agriculture" OR "smart agriculture")) AND (PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2026). Destaca-se que a execução dessa consulta na Scopus requer a utilização da opção de busca avançada.

A string de busca com operadores booleanos aumentou os documentos identificados de 124 para 513, comprovando sua eficácia para a recuperação literária. A seleção final dos documentos seguiu o protocolo de busca, triagem e critérios de elegibilidade detalhados na Figura 1.

Fluxo Metodológico

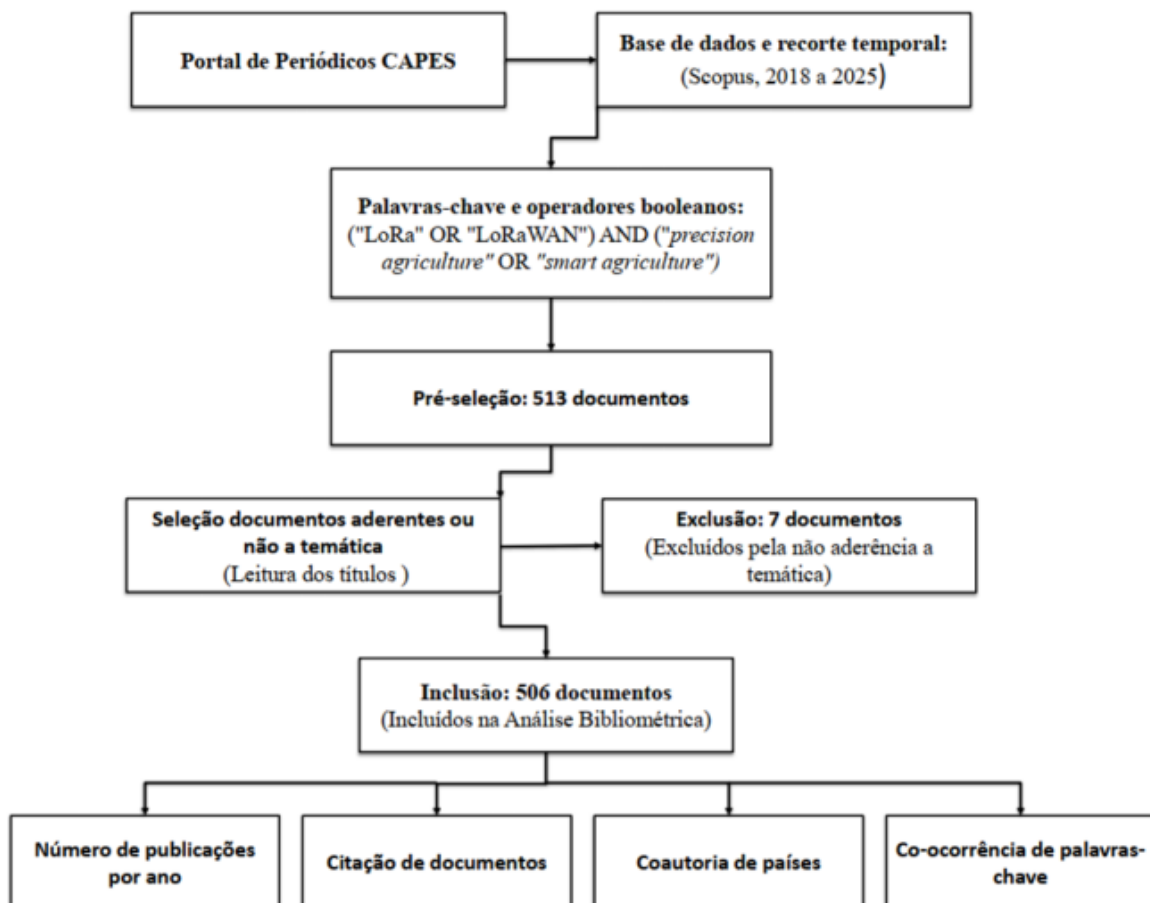


Figura 1 - Etapas de coleta de dados na plataforma Scopus e de análise bibliométrica. Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

Resultados e Discussão

A análise da base Scopus evidenciou crescimento contínuo na produção científica sobre a aplicação da tecnologia LoRa na agricultura de precisão, com aumento notável entre 2021 e 2024, o que sugere uma consolidação temática recente. As visualizações bibliométricas geradas sintetizam as principais tendências e relações no *corpus* analisado.

Apesar da maturidade tecnológica demonstrada em contextos específicos, identifica-se uma

lacuna significativa na literatura quanto a estudos aplicados a condições tropicais, realidades de países em desenvolvimento e implementações em larga escala. Essa carência aponta uma oportunidade relevante para investigações futuras, que deverão abordar a adaptação da tecnologia a ambientes específicos e sua viabilidade econômica em diferentes contextos agrícolas.

Conforme ilustrado na Figura 2, a análise temporal confirma aumento significativo no volume de publicações entre 2020 e 2024. Essa trajetória coincide com o avanço de políticas de digitalização agrícola e a expansão da infraestrutura de conectividade rural.

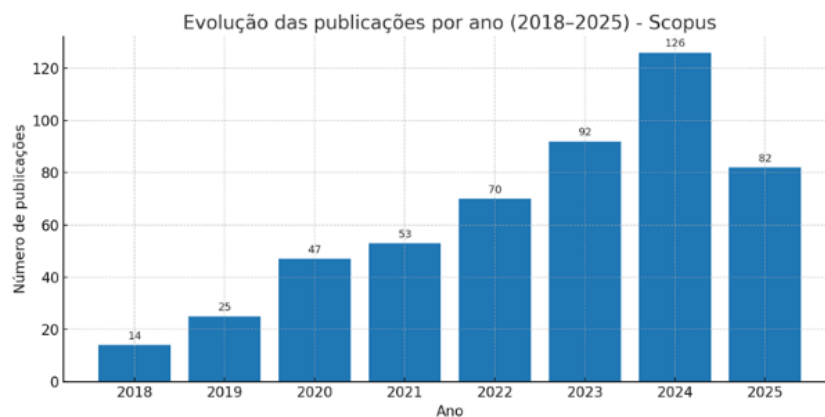


Figura 2- Evolução das publicações por ano 2018 a 2025.
Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

Observou-se na Figura 2, crescimento contínuo, especialmente a partir de 2021, período em que a produção científica sobre LoRa e LoRaWAN na agricultura de precisão. Esse aumento coincide com a ampliação da adoção de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) no setor agrícola e com os avanços na infraestrutura de Redes de Longo Alcance e Baixa Potência (LPWAN), refletindo uma ascensão no campo de pesquisa. O pico observado em 2024 indicou a consolidação do tema como uma área estratégica dentro das discussões sobre Agricultura 4.0 e sustentabilidade tecnológica.

Na observação do gráfico da Figura 2, percebe-se um crescimento contínuo, especialmente a partir de 2021, período em que a produção científica sobre LoRa e LoRaWAN na agricultura de precisão se intensificou. Esse aumento coincide com a ampliação da adoção de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) no setor agrícola e com os avanços na infraestrutura de Redes de Longo Alcance e Baixa Potência (LPWAN), refletindo uma ascensão no campo de pesquisa. O pico observado em 2024 indica a consolidação do tema como uma área estratégica dentro das discussões sobre Agricultura 4.0 e sustentabilidade tecnológica.

Pelo mapa de coautoria, observou-se uma concentração de colaborações em grupos de pesquisa europeus e asiáticos. O Brasil, por sua vez, ainda apresenta uma participação modesta, embora em crescimento (Figura 3).

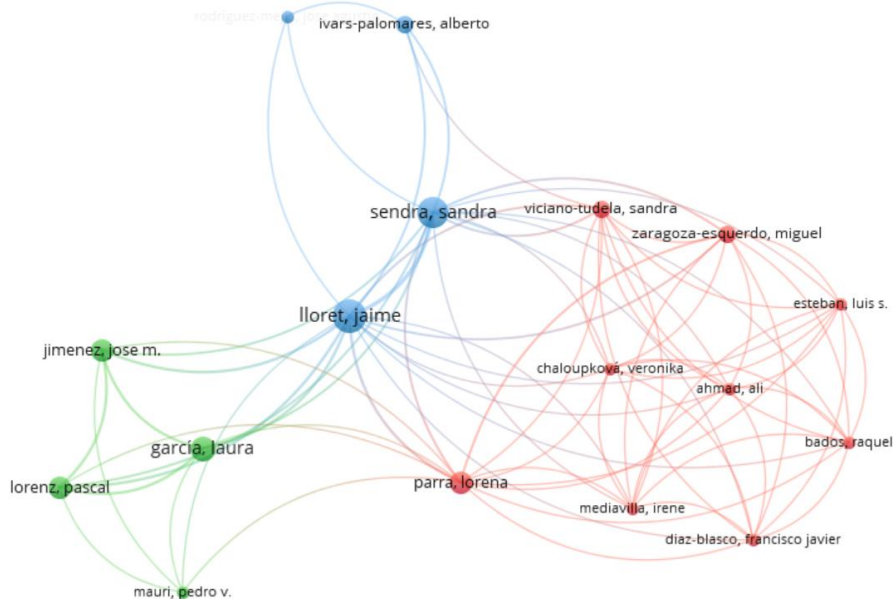


Figura 3 - Rede de coautoria entre autores.
Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

A Tabela 1 detalha os dados dos autores representados no mapa da Figura 3, apresentando um ranking dos principais contribuidores para a pesquisa sobre LoRa na agricultura de precisão. Lloret, J. lidera com sete publicações, seguido por Sendra, S., Giordano, S. e Nayak, S.K., cada um com seis. Essa concentração evidencia a forte influência de grupos de pesquisa europeus, em particular os vinculados à Universidade Politécnica de Valência (Espanha), reconhecida por seus estudos em redes sem fio e Internet das Coisas aplicadas à agricultura.

Outros autores de destaque, como Zhang, Y. e Giambene, G., com cinco publicações cada, reforçam o caráter interdisciplinar do tema, que abrange desde engenharia de telecomunicações e ciência da computação até as ciências agrárias. A significativa contribuição de autores de países como Espanha, China, Índia e Itália confirma a consolidação internacional da pesquisa sobre a integração de LoRa e LoRaWAN em sistemas agrícolas inteligentes.

Tabela 1- Autores por número de documentos

Posição	Autor	Número de documentos
1	Lloret, J.	7
2	Sendra, S.	6
3	Giordano, S.	6
4	Nayak, S.K.	6
5	Zhang, Y.	5
6	Giambene, G.	5
7	Davoli, L.	4
8	Zambon, R.	4
9	Marquet, A.	4
10	Montavont, N.	4
11	Pozzebon, A.	4
12	García, L.	4
13	Weyn, M.	4
14	Berkvens, R.	4
15	Andreadis, A.	4

Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

A colaboração internacional foi marcada pela predominância de países europeus com contribuição de alguns países asiáticos, com destaque para Espanha, Itália, China e Índia, indicando a globalização das pesquisas sobre LoRa, como pode ser vista na Figura 4.

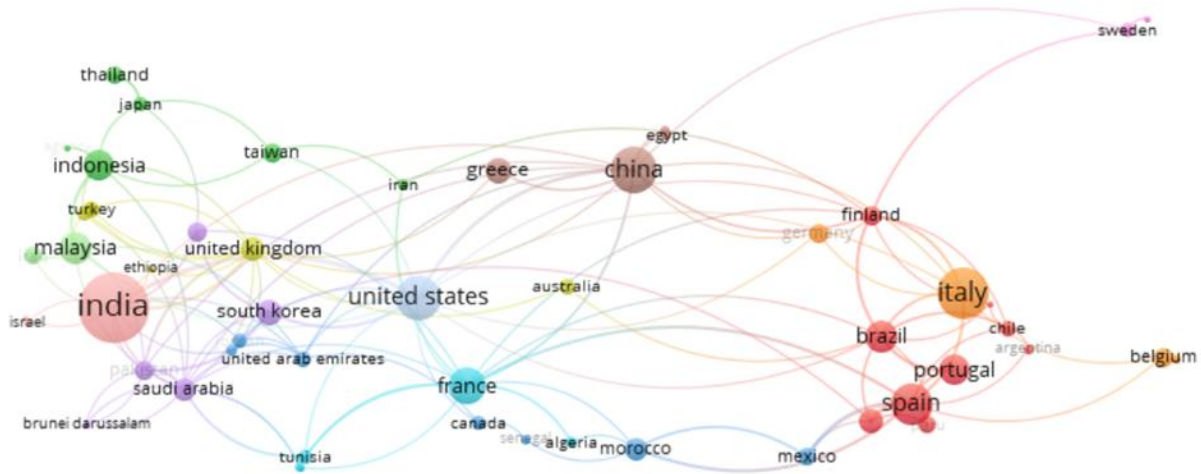


Figura 4 – Contribuição internacional.
Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

Além das redes de colaboração, identificaram-se os principais autores e suas instituições com base nos dados da Scopus, conforme sumarizado na Tabela 2. Os resultados evidenciaram uma significativa produção de universidades europeias, especialmente da Espanha e da Itália, seguidas por contribuições relevantes de países asiáticos, como China e Índia. Essa distribuição geográfica confirmou o caráter internacionalizado das pesquisas sobre LoRa na agricultura de precisão, destacando a atuação de grupos consolidados em instituições de referência.

Tabela 2 - Principais autores, número de documentos e instituições

Autor	Nº de documentos	Países	Instituição (mais frequente, conforme Scopus)
Lloret, J.	7	Espanha	Universitat Politècnica de València, València
Sendra, S.	6	Espanha	Universitat Politècnica de València, València
Giordano, S.	6	Itália	Università di Pisa
Nayak, SK	6	Índia	KIIT University
Zhang, Y.	5	China	Beijing University of Posts and Telecommunications
Giambene, G.	5	Itália	Università di Siena
Dovoli, L.	4	Itália	Università di Parma
Zambon, R.	4	Itália	Università di Padova
Marquet, A.	4	França	Università di Padova
Montavont, N.	4	França	IMT Atlantique
Pozzebon, A.	4	Itália	Università di Firenze
García, L.	4	Espanha	Universitat Politècnica de València
Weyn, M.	4	Bélgica	Universiteit Antwerpen
Berkvens, R.	4	Bélgica	Universiteit Antwerpen
Andreadis, A.	4	Grécia	Aristotle University of Thessaloniki

Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

A Figura 5 exibiu as 20 palavras-chave mais frequentes nos documentos analisados. Destaca-se a palavra *precision agriculture*, que liderou com ampla margem, seguida por LoRa, *Internet of Things* e LoRaWAN. A presença de termos como *wireless sensor networks*, *agricultural robots* e *smart farming* revela o foco tecnológico e inovador das pesquisas, indicando uma forte convergência entre agricultura e sistemas digitais.

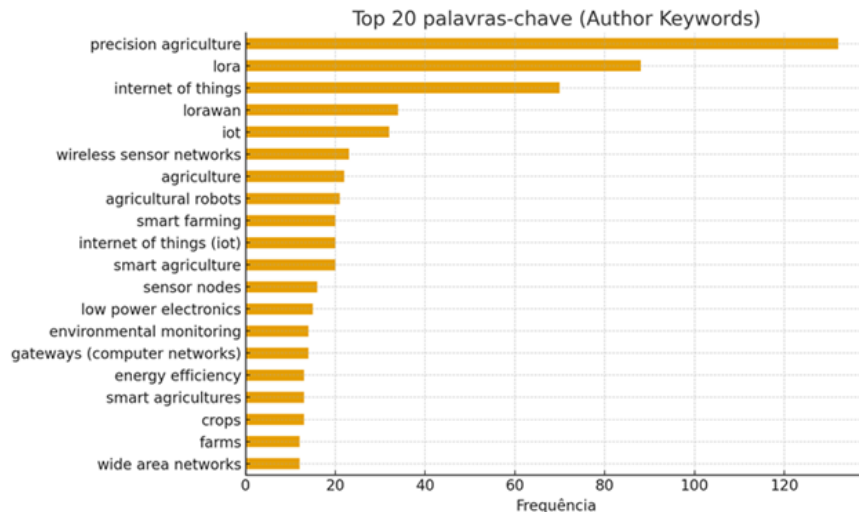


Figura 5 - Distribuição das palavras-chave (top 20).
Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

A análise da rede de palavras-chave revelou a interligação entre os termos, aprofundando a compreensão do tema. A visualização, na qual os nós coloridos representam agrupamentos temáticos distintos, destaca sua natureza interdisciplinar, integrando as dimensões da agricultura, da tecnologia e da análise de dados. Observou-se, ainda, que termos como "sensor", "data" e "agriculture" ocupam uma posição central na rede, sinalizando sua relevância transversal na literatura analisada (Figura 6).

Tabela 3 – Correlação de palavras-chave (top 30)

Posição	Palavra-chave	Frequência	Percentual (%)
1	lora	159	31.2
2	lorawan	126	24.8
3	smart agriculture	123	24.2
4	iot	113	22.2
5	precision agriculture	107	21.0
6	internet of things	85	16.7
7	internet of things (iot)	39	7.7
8	smart farming	35	6.9
9	lpwan	35	6.9
10	sensors	22	4.3
11	agriculture	21	4.1
12	wireless sensor networks	18	3.5
13	machine learning	18	3.5
14	wsn	18	3.5
15	edge computing	15	2.9
16	lora technology	15	2.9
17	environmental monitoring	14	2.8
18	wireless sensor network	14	2.8
19	nb-iot	10	2.0
20	rsssi	10	2.0
21	wirelesscommunication	10	2.0
22	sensor	9	1.8
23	deep learning	9	1.8
24	soil moisture	9	1.8
25	remote sensing	8	1.6
26	water management	8	1.6
27	smart irrigation	8	1.6
28	fog computing	8	1.6
29	energy efficiency	8	1.6
30	cloud computing	7	1.4

Fonte: Elaboração própria a partir da base (Scopus, 2025).

A extração dos dados, que constam na tabela, da base Scopus foi realizada em 18 outubro de 2025. Foram considerados apenas documentos escritos em inglês, português e espanhol. Foram aplicados critérios de exclusão duplicatas e registros não relacionados mediante leitura dos títulos e resumos. O arquivo CSV completo com os registros exportados, não só na tabela 3, mas em todo documento está disponível para comprovar a veracidade do estudo, para tanto basta solicitar.

Considerações Finais

Esta revisão bibliométrica evidenciou o crescimento e a consolidação das pesquisas sobre LoRa e LoRaWAN na agricultura de precisão, onde constatou-se que, na maioria dos documentos estes dois termos foram associados ao monitoramento ambiental e à gestão hídrica. Por meio da análise, foi possível identificar os autores mais relevantes e as palavras-chave de maior frequência, as quais reforçam o papel da tecnologia LoRa, da Internet das Coisas (IoT) e das Redes de Longo Alcance e Baixo Consumo de Energia. (LPWAN) como bases tecnológicas fundamentais para a Indústria 4.0 no setor agrícola.

Tão expressivos quanto o crescimento dessas tecnologias são os desafios que ainda persistem. Pode-se elencar os de ordem técnica, como sensores para medição

de umidade do solo: os resistivos têm custo acessível, porém apresentam eficiência limitada, enquanto alternativas mais eficientes, como os capacitivos, além de possuírem custo elevado, apresentam indisponibilidade no mercado brasileiro. Ademais, a transmissão de dados enfrenta obstáculos relacionados à confiabilidade da comunicação, à extensão da cobertura em áreas rurais e à interoperabilidade entre sistemas. Tais limitações ainda impedem a adoção em larga escala dessas soluções tecnológicas.

Este estudo forneceu dados significativos que podem guiar a criação de novas políticas e estratégias tecnológicas para o agronegócio do Brasil. Contudo, ele não esgota a temática, sugerindo, antes, o aprofundamento da investigação por meio da consulta às bases de dados adicionais, tais como a Web of Science e a IEEE Xplore, além da combinação complementar de estratégias metodológicas. Certamente, esse aprofundamento viabilizará análises mais abrangentes dos desafios e das oportunidades de inovar com alta tecnologia no setor agrário. A fim de chegar a um resultado satisfatório que, para além do aprimoramento das práticas correntes, fomente a equidade no setor agrícola, garantindo a inclusão produtiva de médios e pequenos produtores por meio dessas inovações tecnológicas.

Referências

MUSA, Purnawarman; SUGERU, Herik; WIBOWO, Eri Prasetyo. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations. *Sensors*, v. 24, n. 1, art. 51, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s24010051>. Acesso em: 20 outubro de 2025.

LUZ, A. D.; FOCHEZATTO, A. O transbordamento do PIB do Agronegócio do Brasil: uma análise da importância setorial via Matrizes de Insumo-Produto. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Porto Alegre, v. 61, n. 2, e258807, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/9DPprfDmn6mZYZHrHqmhKKx/?lang=pt>. Acesso em: 19 outubro de 2025.

LLORET, Jaime; GARCÍA, Laura; JIMENEZ, Jose M.; SENDRA, Sandra; LORENZ, Pascal. Cluster-based communication protocol and architecture for a wastewater purification system intended for irrigation. *IEEE Access*, v. 9, p. 142374–142389, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119757>. Acesso em: 21 de outubro de 2025.

SARKER, V. K.; PEÑA QUERALTA, J.; NGUYEN GIA, T.; TENHUNEN, H.; WESTERLUND, T. A survey on LoRa for IoT: integrating edge computing. *Conference paper*, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/FMEC.2019.8795313>. Acesso em: 21 de outubro de 2025.