

NICHOLAS RIBEIRO RODER

**Uma Revisão da Literatura sobre o Uso de Tecnologias
Emergentes na Agricultura 4.0**

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada da Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo, para obten-
ção do título de Especialista, pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Dados
e Big Data.

São Paulo
2024

NICHOLAS RIBEIRO RODER

Uma Revisão da Literatura sobre o Uso de Tecnologias Emergentes na Agricultura 4.0

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Dados e Big Data.

Área de Concentração:

Tecnologia da Informação – Engenharia/
Tecnologia/ Gestão

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Morandini

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

--

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha família pelo apoio, incentivo e conselhos. Aos colegas de curso, professores e meu orientador pela dedicação e conhecimentos compartilhados.

RESUMO

A agricultura, setor essencial para a sobrevivência humana, enfrenta desafios crescentes relacionados à eficiência, sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico. Nesse contexto, tecnologias emergentes como Inteligência Artificial, *Internet of Things*, *Blockchain* e *Big Data* apresentam um potencial transformador. Este estudo oferece uma revisão de literatura das tecnologias emergentes na agricultura 4.0, analisando estudos recentes para identificar avanços e aplicações dessas tecnologias. Os resultados mostram um foco predominante na *Internet of Things* e Inteligência Artificial na produção agrícola, especialmente para otimização da irrigação e monitoramento da saúde de plantas e animais. No entanto, desafios como escalabilidade e altos custos de implementação limitam sua adoção mais ampla, especialmente entre pequenos produtores. Além disso, tecnologias como *Blockchain*, *Big Data* e o setor de manufatura permanecem pouco exploradas. Conclui-se que a integração de tecnologias pode transformar o setor agrícola, mas é necessário superar barreiras econômicas e explorar novas áreas da agricultura como manufatura e logística para ampliar o impacto na agricultura 4.0.

Palavras-Chave: agricultura 4.0, tecnologias emergentes, inteligência artificial, internet of things, blockchain, big data

ABSTRACT

Agriculture, an essential sector for human survival, faces increasing challenges related to efficiency, sustainability, and technological development. In this context, emerging technologies such as Artificial Intelligence, Internet of Things, Blockchain and Big Data present transformative potential. This study provides a literature review of emerging technologies in Agriculture 4.0, analyzing recent studies to identify advancements and applications of these technologies. The findings present a predominant focus on Internet of Things and Artificial Intelligence in agricultural production, particularly for irrigation optimization and monitoring the health of plants and animals. However, challenges such as scalability and high implementation costs limit broader adoption, especially among small-scale producers. Additionally, technologies like Blockchain, Big Data, and the manufacturing sector remain underexplored. It concludes that integrating technologies can transform the agricultural sector, but overcoming economic barriers and exploring new agriculture sectors like manufacture and logistics to broaden the impact in agricultura 4.0.

Keywords: agriculture 4.0, emerging technologies, artificial intelligence, internet of things, blockchain, big data.

LISTA DE FIGURAS

1	Total de trabalhos selecionados por periódico	24
2	Total de trabalhos aceitos e rejeitados	24
3	Total de trabalhos analisados	25

LISTA DE TABELAS

1	Estudos classificados conforme o setor de atividade da agricultura.	26
2	Estudos classificados conforme as tecnologias emergentes utilizadas.	29

LISTA DE SIGLAS

AI - *Artificial Intelligence*
FAO - *Food and Agriculture Organization*
GIS - *Geographic Information System*
IA - *Inteligência Artificial*
IoT - *Internet of Things*
ITU - *International Telecommunication Union*
K-NN - *K-Nearest Neighbors*
LSTM - *Long-Term Memory Architecture*
ML - *Machine Learning*
NFT - *Non-fungible tokens*
SVM - *Support Vector Machine*

SUMÁRIO

1	Introdução	10
1.1	Objetivo	11
1.2	Objetivo específico	12
2	Fundamentação teórica	13
2.1	Agricultura 4.0	13
2.2	Inteligência Artificial	15
2.3	<i>Internet of Things</i>	17
2.4	<i>Blockchain</i>	18
2.5	<i>Big Data</i>	19
3	Material e métodos	22
4	Resultados e discussão	26
5	Conclusão	34
5.1	Trabalhos futuros	35
	Referências	37

1 INTRODUÇÃO

A agricultura e sua indústria passaram por diversas mudanças ao longo dos anos. As práticas agrícolas tradicionais foram transformadas pelo uso de tecnologias, aumentando a produção de alimentos de forma mais sustentável. Os avanços de tecnologias no setor industrial, logístico, comunicação e engenharia de software foram sendo implementados nos setores alimentício e agrícola, com este novo tipo de agricultura, conhecido como agricultura 4.0, o setor vem sendo revolucionado, solucionando problemas das gerações anteriores.

Previamente à apresentação de aspectos de tecnologias emergentes da agricultura 4.0, será apresentado uma introdução sobre a evolução da indústria e agricultura, de seus primórdios aos tempos atuais.

As práticas agrícolas tradicionais e camponesas, quando os agricultores dependiam de ferramentas rudimentares e animais, como enxada, foice, arado, boi, cavalo para o cultivo, até o final do séc. XIX são chamadas de agricultura 1.0 (RAPELA, 2019). Esse tipo de agricultura demandava um grande trabalho manual acompanhada de uma baixa produtividade. Com o advento da primeira revolução industrial entre os anos de 1760 e 1850, a produção agrícola aumentou durante o séc. XX, sendo conhecida como agricultura 2.0 (LIU et al., 2020), onde surgiram maquinários agrícolas para suportar os processos de plantio e colheita aumentando a produção de alimentos e redução do trabalho manual.

Com a evolução da primeira revolução industrial para a segunda revolução industrial (séc. XX), houve a troca da principal fonte energética utilizada - o vapor - para o uso de petróleo e gás. As novas fontes de energia proporcionaram o desenvolvimento de inovações que passaram a ser utilizadas nas indústrias e nos transportes, aprimorando com isso o setor agrícola e alimentar. Barreiras antes enfrentadas no transporte e produção em massa foram superadas com a introdução de novos maquinários e novas técnicas de manufatura em larga escala.

Com a explosão proporcionada pelas duas revoluções industriais iniciais, novos tipos

de tecnologias foram desenvolvidas e implementadas na era moderna, o uso de energia elétrica e o surgimento de semicondutores, circuitos integrados, computação e engenharia de software durante a terceira era industrial trouxe novas capacidades. Tecnologias de automação, equipamentos de precisão, sensores e atuadores mudaram a forma como a agricultura era realizada, advindo assim a agricultura 3.0, com o uso de tecnologias da informação, aplicações como agricultura de precisão (NARVAEZ et al., 2017) e agricultura inteligente surgiram (JASIM; FOURATI, 2023).

No entanto, a agricultura possui muitos desafios e oportunidades a serem explorados nos dias atuais, como: eficiência industrial, sustentabilidade, segurança alimentar e mudanças climáticas são tópicos amplamente discutidos. A quarta revolução industrial está em andamento, tecnologias emergentes como IoT (*Internet of Things*), Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, *Blockchain*, robótica estão sendo exploradas pelos diferentes tipos de indústria, e a agricultura não pode ficar de fora, com o uso destas tecnologias surge a agricultura 4.0.

Com a ajuda das tecnologias mencionadas acima, a agricultura busca aprimorar sua eficiência e eficácia, sustentabilidade e segurança.

1.1 Objetivo

Como apresentado anteriormente na seção 1, a agricultura 4.0 surge por meio do uso de tecnologias emergentes desenvolvidas durante a quarta revolução industrial, com o objetivo de melhorar e solucionar os desafios sobre a agricultura, como: eficiência, produtividade, sustentabilidade e logística.

Com isso, o objetivo deste estudo consiste em realizar uma revisão de literatura dos principais artigos publicados sobre agricultura 4.0 e do uso de tecnologias emergentes. Para isso, foram elaboradas duas questões principais:

Como tecnologias emergentes, como *Big Data*, IoT, Inteligência Artificial e *Blockchain*, estão sendo utilizadas nos setores da agricultura 4.0? Sendo:

1. Manufatura
2. Produção
3. Logística

E quais seus principais desafios?

A manufatura na agricultura 4.0 refere-se à industrialização de produtos agrícolas, como grãos, animais e frutas. Ou seja, a agregação de valor através da indústria na cadeia econômica do agronegócio. Já a produção agrícola é o coração da agricultura 4.0, representando a fase em que as culturas são cultivadas e os animais são criados. Por fim, a logística na agricultura 4.0 abrange o armazenamento, transporte e distribuição de produtos agrícolas, desde a colheita até o consumidor final.

Essas definições estabelecem a base para compreender como as tecnologias emergentes estão transformando cada um dos setores.

1.2 Objetivo específico

Este estudo possui como objetivos específicos classificar e categorizar os trabalhos e artigos revisados de acordo com os setores fundamentais da agricultura 4.0, sendo eles manufatura, produção e logística. Essa classificação visa organizar as contribuições e aplicações das tecnologias emergentes em cada área, oferecendo uma visão estruturada de como cada setor se beneficia dessas inovações.

Além disso, busca-se identificar as tecnologias emergentes mais utilizadas na agricultura 4.0 — incluindo *Big Data*, *Internet of Things* (IoT), Inteligência Artificial (IA) e *Blockchain* — destacando os principais usos dessas tecnologias em cada setor. Em complemento, este trabalho investiga os desafios técnicos e operacionais enfrentados na implementação dessas tecnologias no contexto da agricultura 4.0, considerando tanto barreiras específicas de cada setor quanto aquelas de caráter mais abrangente, que limitam a adoção e a eficiência dessas inovações.

Dessa forma, espera-se fornecer uma visão abrangente e sistemática sobre a aplicação de tecnologias emergentes na agricultura 4.0, enfatizando tanto os avanços obtidos quanto os obstáculos que dificultam seu pleno desenvolvimento.

Por fim, como alicerce para a revisão de literatura sobre o tema proposto, nos próximos capítulos serão apresentados a fundamentação teórica apresentando conceitos e fundamentos básicos sobre o tema do trabalho, os materiais e metodologia aplicada, sendo: a estruturação da revisão sistemática, palavras-chaves, estratégia de busca, critérios de inclusão e exclusão e seleção dos estudos primários.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os conceitos e fundamentos básicos sobre o tema deste trabalho, abordando a agricultura 4.0 e as tecnologias emergentes aplicadas nesse contexto, como: Inteligência Artificial (IA), *Internet of Things* (IoT), *Blockchain* e *Big Data*

2.1 Agricultura 4.0

Como apresentado no Seção 1 - Introdução, a agricultura passou por transformações significativas ao longo dos anos. Práticas agrícolas tradicionais têm sido substituídas por abordagens mais inteligentes, nas quais tecnologias avançadas aumentam a produção de alimentos de forma mais eficaz e eficiente. Além das inovações em transporte, ferramentas de comunicação e engenharia de software começaram a ser incorporadas na indústria agrícola, caracterizando uma nova era denominada agricultura 4.0, que vem revolucionando o setor ao enfrentar alguns dos desafios das gerações anteriores. Historicamente, as fases de agricultura 1.0 e 2.0 dependiam de mão-de-obra humana e animal. A partir da agricultura 3.0, práticas agrícolas passaram a se beneficiar da tecnologia, e, na agricultura 4.0, esta se tornou o núcleo das operações, transformando completamente o modo de produção. Tecnologias como *Blockchain* são estudadas para melhorar a transparência e a cadeia de suprimentos alimentares, enquanto *Big Data*, ciência de dados, Aprendizado de Máquina (do inglês, *Machine Learning*, ML) e Inteligência Artificial (IA) impulsionam a agricultura de precisão e outras aplicações agrícolas.

Em 2020, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (do inglês, *Food and Agriculture Organization*, FAO) descreveu a agricultura 4.0 como uma integração de inovações como agricultura de precisão, IoT e *Big Data*, visando maior eficiência na produção (BERTOGLIO et al., 2021). Embora uma definição unificada do termo “agricultura 4.0” ainda seja debatida, ele é inspirado pelo conceito da indústria 4.0. Os pilares da agricultura 4.0 incluem tecnologias digitais, como IA, *Big Data*, computação

em nuvem, robótica, IoT e *Blockchain*, que visam otimizar tarefas agrícolas, reduzindo o uso de insumos (como água, fertilizantes e pesticidas) e aumentando a produtividade das fazendas em um cenário de mudanças climáticas. A agricultura 4.0 oferece aos agricultores sistemas de apoio à decisão, possibilitando um uso preciso dos recursos de acordo com a necessidade real das plantas, em vez de aplicações uniformes. A agricultura 4.0 conecta todos os elos da cadeia de valor do agronegócio, desde o produtor até a distribuição do produto acabado, através da digitalização dos processos, possibilitando a interconexão e interação autônoma de objetos físicos e virtuais.

A conectividade em tempo real, viabilizada por tecnologias de banda larga e armazenamento em nuvem, permite uma visão integrada das operações agrícolas e cria ecossistemas agroindustriais conectados. A agricultura 4.0 fomenta um conceito de gestão integral da propriedade agrícola, promovendo a cooperação entre *stakeholders*, infraestruturas e tecnologias de diferentes setores. Além das tecnologias digitais, outras disciplinas, como engenharia genética, impressão 3D aplicada à alimentação, cultivo de carne, agricultura vertical e agricultura circular, são vistas como avanços integráveis ao conceito de agricultura 4.0.

Como uma das indústrias primárias do mundo, a agricultura desempenha um papel fundamental na estabilidade social e no desenvolvimento econômico. A necessidade de alimentar uma população em crescimento, prevista para atingir 9,2 bilhões em 2050, exige um aumento de 70% na produção de alimentos, segundo a FAO (BERTOGLIO et al., 2021). Esse cenário incentiva os agricultores a migrarem para modelos agrícolas de nova geração, que utilizam tecnologias digitais para otimizar processos e aumentar a rentabilidade. A agricultura moderna e digitalizada emprega dados e tecnologias avançadas para aprimorar os rendimentos agrícolas, utilizando estratégias de gestão de insumos como fertilizantes, irrigação e pesticidas. A agricultura de precisão, por exemplo, envolve a coleta, processamento e análise preditiva de dados para decisões mais informadas e aplicáveis no campo.

A revolução agrícola impulsionada pela agricultura 4.0 se concentrará não apenas em tecnologias avançadas por si só, mas também em soluções que abordem o desafio de escassez de alimentos. Equipamentos, sensores e sistemas de IA e tecnologia avançados transformarão o funcionamento das fazendas e indústria, potencializando a produtividade e a segurança ambiental. O uso de robôs, sensores de temperatura e umidade, imagens aéreas, tecnologia de geolocalização e aprendizado de máquina transformará a agricultura em uma atividade mais bem-sucedida, segura e sustentável.

Este trabalho de revisão explora as mais recentes tecnologias aplicadas na agricultura digital e destaca as tendências tecnológicas em diversos setores agrícolas, bem como os desafios enfrentados na aplicação dessas inovações, visando uma maior otimização dos recursos e melhor desempenho na produção agrícola.

2.2 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) é geralmente definida como o conjunto de técnicas que capacita máquinas a imitar a inteligência humana, destacando-se especialmente em sistemas da agricultura 4.0. Entre os subcampos da IA, o Aprendizado de Máquina (ML) tem ganho destaque, ao melhorar tanto a velocidade quanto a precisão da análise de dados em comparação com métodos estatísticos tradicionais. O ML, por sua vez, trabalha com padrões de dados sem necessidade de pressupostos rígidos, o que possibilita a detecção de novos padrões e o aprendizado automático. Essas técnicas são amplamente aplicadas em tarefas supervisionadas e não supervisionadas. No aprendizado supervisionado, o modelo é treinado com dados rotulados para prever resultados futuros. Já no aprendizado não supervisionado, os dados não possuem rótulos, e o objetivo é identificar padrões ocultos, permitindo uma representação mais compacta e compreensível das informações (HAN, 2023).

Em resumo, essas técnicas de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (ML) oferecem softwares e sistemas inteligentes que executam operações de tomada de decisões, visando diretamente à melhoria da produção agrícola. Esses métodos permitem uma gestão de riscos mais eficiente, reduzem os custos associados às decisões e aumentam a precisão e produtividade no campo (MOUTAOUAKIL et al., 2022). No contexto agrícola, onde há uma grande quantidade de dados gerados, são necessárias estratégias robustas para selecionar, categorizar e agregar essas informações, permitindo a avaliação precisa do valor dos dados. Em ambientes com múltiplos sensores, como aqueles presentes nas lavouras, técnicas de tratamento e classificação de dados são amplamente aplicadas para integrar dados de sensores, minimizando erros de detecção e aumentando a confiabilidade nas decisões tomadas.

Nos sistemas de gestão agrícola, diversos métodos de IA, como redes neurais artificiais e algoritmos de aprendizado profundo, incluindo redes neurais convolucionais e redes neurais recorrentes, têm sido aplicados com sucesso. Em certos casos, o aprendizado não supervisionado também se mostra útil, oferecendo recursos valiosos para encontrar padrões em dados sem rótulos, em consonância com os princípios da agricultura 4.0, que

busca aumentar a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas.

As aplicações de aprendizado de máquina e visão computacional na agricultura são variadas, abrangendo áreas como o manejo de culturas, gestão de água e solo, bem como, monitoramento de gado. No campo da visão computacional, o aprendizado de máquina é utilizado para análise de imagens agrícolas em atividades como: detecção de doenças, avaliação da qualidade dos grãos e fenotipagem. Na pecuária de precisão, a IA permite o monitoramento da saúde animal, controle da alimentação e detecção de problemas, como a claudicação em gado leiteiro. Tais sistemas de monitoramento contínuo possibilitam uma gestão mais eficiente da produção e da saúde animal (JASIM; FOURATI, 2023).

Os avanços esperados para o uso de aprendizado de máquina na agricultura incluem uma integração mais profunda de dados, além da combinação de técnicas distintas de aprendizado de máquina, de modo a maximizar suas potencialidades. No nível da infraestrutura, dispositivos de IoT, como sensores e drones, viabilizam a coleta de dados detalhados sobre condições meteorológicas, umidade do solo, monitoramento de culturas e saúde animal. O uso de atuadores, como tratores autônomos e sistemas de irrigação inteligentes, viabiliza ainda a automação de diversas operações agrícolas, ampliando a eficiência e a produtividade.

No manejo de culturas, as técnicas de IA auxiliam na previsão de safras, promovem a gestão eficiente de recursos e fornecem conhecimento técnico sobre práticas agrícolas, incluindo monitoramento da saúde do solo, proteção de culturas e previsão de rendimento. Em sistemas de irrigação, o uso de IA permite que sensores detectem as necessidades hídricas das plantas, o que promove uma gestão mais eficiente da água e melhora a produtividade. Já na previsão climática, algoritmos de IA, como redes neurais e modelos de aprendizado profundo, têm se mostrado eficazes na previsão de variáveis como temperatura e umidade, possibilitando uma tomada de decisão agrícola mais precisa e informada. No monitoramento de gado, a IA tem sido aplicada para a saúde animal, automação da ordenha e manejo de precisão, com sistemas de visão computacional ajudando na detecção de problemas de saúde (JASIM; FOURATI, 2023).

Os métodos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo também são ferramentas eficazes para a análise de grandes volumes de dados. Algoritmos como redes neurais convolucionais são amplamente usados no processamento de imagens, enquanto redes neurais recorrentes têm aplicação em séries temporais, como na previsão de crescimento das plantas e umidade do solo. As redes de aprendizado profundo se tornaram mais presentes na agricultura, contribuindo no monitoramento do crescimento de cultu-

ras, estimativas de produção e detecção de doenças. Esses métodos, ao lado das técnicas de IA, têm potencial para transformar práticas agrícolas, tornando-as mais inteligentes, produtivas e sustentáveis, de acordo com os princípios da agricultura 4.0.

2.3 *Internet of Things*

O uso do *Internet of Things* (IoT) e de tecnologias de IA em redes de sensores sem fio está transformando a agricultura, proporcionando um nível avançado de automação e conectividade. A IoT conecta diferentes dispositivos e sistemas, permitindo que informações sejam compartilhadas globalmente. Segundo Han (2023), técnicas de identificação, processamento e comunicação dos dispositivos IoT tornam a agricultura mais ágil e adaptável a mudanças climáticas. A tecnologia auxilia os agricultores a maximizarem o uso de suas terras e colheitas, garantindo práticas produtivas e saudáveis. A IoT promove a sustentabilidade, rentabilidade e proteção ambiental, suportando práticas agrícolas específicas para cada local. Um exemplo é o sistema de irrigação inteligente, que calcula a necessidade de água, notificando o momento ideal para irrigação com base em níveis de umidade do solo e temperatura.

Conforme a União Internacional de Telecomunicações (do inglês, *International Telecommunication Union*, ITU), a IoT é uma infraestrutura global que possibilita serviços avançados interconectando coisas físicas e virtuais (BERTOGLIO et al., 2021). Em uma definição mais abrangente, o IoT é uma rede global dinâmica e autoconfigurável, onde objetos possuem identidades, atributos físicos e virtuais e utilizam interfaces inteligentes para se integrar a redes de informação.

Em resumo, o IoT na agricultura 4.0 define uma rede global de dispositivos conectados capaz de coletar, processar e disseminar dados de forma eficaz. Este sistema atua como base para uma nova geração de gestão agrícola, analisando fluxos de dados em tempo real, processando informações diversas, além de modificar o comportamento da rede para otimizar a aquisição e comunicação dos dados. Desta forma, o IoT se torna uma tecnologia essencial para as fazendas inteligentes e para a aplicação dos princípios da agricultura 4.0.

Tradicionalmente, sistemas IoT na agricultura 4.0 centralizam o gerenciamento das informações em um controlador único, mas enfrentam limitações de hardware. As redes de sensores sem fio, que utilizam tecnologias de comunicação sem fio, são formadas por sensores interconectados, sendo o consumo energético uma preocupação significativa. Alternativas para armazenamento de dados incluem a tecnologia *Blockchain*, que oferece

segurança e transparência na gestão de dados, embora ainda enfrente desafios de escalabilidade.

Por fim, o IoT possibilita o monitoramento contínuo do ambiente agrícola, permitindo a supervisão remota por agricultores. Sensores de umidade do solo, temperatura e níveis de água estão entre os mais utilizados, contribuindo para práticas agrícolas mais produtivas. Comparada às técnicas tradicionais, a agricultura 4.0 baseada em IoT gera uma enorme quantidade de dados, introduzindo desafios de armazenamento, análise e tomada de decisão. Assim, o IoT, ao se integrar com tecnologias emergentes como *Big Data* e *Blockchain*, viabiliza um sistema agrícola mais eficiente e sustentável, impulsionando a produtividade e reduzindo a dependência de práticas manuais.

2.4 *Blockchain*

A tecnologia *Blockchain* é um sistema de registro distribuído que permite acompanhar transações de forma segura, transparente e imutável, sem a necessidade de intermediários como bancos. Essa tecnologia cria um banco de dados descentralizado, resistente a fraudes e manipulações, onde cada transação deve ser verificada por todos os nós da rede, assegurando a responsabilidade de todos os envolvidos (HAN, 2023). Diferentes algoritmos de consenso são utilizados para verificar a precisão das informações que entram e saem da rede, sendo que criptomoedas como *Bitcoin* e *Ethereum* recompensam os validadores dessas transações. Hoje, o *Blockchain* já é aplicado em diversas áreas, como: serviços de saúde, financeiros, gestão de cadeia de suprimentos e transferências digitais de mídia (do inglês, *Non-fungible tokens*, NFT). O *Blockchain* apresenta grande potencial para pequenas e médias propriedades agrícolas ao garantir uma cadeia de suprimentos de alimentos segura e rastreável. Os contratos inteligentes são fundamentais para registrar transações nesse sistema, permitindo uma transformação digital nas transações agrícolas e melhorando a competitividade de cooperativas em países em desenvolvimento, onde os agricultores podem agregar maior valor aos seus produtos. Além disso, a tecnologia auxilia na proteção de lavouras contra condições climáticas imprevisíveis e desastres naturais, sendo um recurso importante para seguros agrícolas.

Em resumo, o *Blockchain*, é uma espécie de banco de dados distribuído que mantém suas informações sincronizadas entre várias entidades e, uma vez inseridas, as informações não podem ser alteradas. Os participantes da rede verificam periodicamente a confiabilidade dos dados, o que torna a tecnologia promissora para diversos setores, incluindo a agricultura 4.0. Entre as vantagens, está a segurança, já que agricultores e outros envol-

vidos no setor valorizam a proteção e a confidencialidade de suas informações pessoais. No *Blockchain*, os dados são armazenados em blocos e somente podem ser acessados por pessoas autorizadas, garantindo uma troca segura de informações.

Outro benefício do *Blockchain* é a transparência. A agricultura, sendo essencial para a sobrevivência humana, requer operações conduzidas de maneira transparente e confiável. A incorporação da tecnologia na cadeia de suprimentos agroalimentar possibilita o rastreamento preciso dos produtos, desde a produção até a entrega ao consumidor, com informações confiáveis fornecidas por sensores e acessíveis a todos os atores envolvidos. Isso permite, por exemplo, que um consumidor, ao escanear um código em uma embalagem de carne, verifique detalhes sobre as condições de vida do animal, dados de transporte e armazenamento.

Além disso, o *Blockchain* agiliza a comunicação entre os envolvidos no setor agrícola, facilitando a troca de produtos e o recebimento de pagamentos de forma mais rápida. Com uma criptomoeda desenvolvida para o setor, como o *PavoCoin*, inspirada no *Bitcoin* e criada para agricultores, a tecnologia oferece um método de pagamento seguro e eficiente, reduzindo o tempo de transações e melhorando a experiência dos usuários (JASIM; FOURATI, 2023).

Os benefícios do *Blockchain* são extensivos a todos os participantes na cadeia de suprimentos alimentar. O *Blockchain* proporciona transparência e confiança, permitindo que cada um escolha alimentos de melhor qualidade conforme seus próprios critérios e garantindo que as informações contidas nos rótulos sejam verídicas.

2.5 *Big Data*

O *Big Data* é uma área de pesquisa focada na análise de grandes volumes de dados, caracterizada por elementos como volume, velocidade, variedade e veracidade. Na agricultura 4.0, o foco está na coleta e uso de dados para subsidiar decisões que agreguem valor ao setor agrícola. Esses dados provêm de diversas fontes, como sensores no solo, registros históricos de agências governamentais e não governamentais, serviços e repositórios online. Nos últimos anos, a produção agrícola tem experimentado um crescimento significativo, impulsionado pelo uso intensivo de dados provenientes de sensores e dispositivos de IoT. Essa tecnologia, *Big Data*, permite a análise de padrões de produção de alimentos, processos e cadeias de suprimento, ajudando os produtores a escolherem as melhores culturas para plantar e a otimizar a produção (HAN, 2023).

As operações agrícolas estão se tornando cada vez mais orientadas por dados, isto, devido ao aumento no número de dispositivos conectados e sensores em fazendas. Desde os anos 1980, a integração de tecnologias como GPS, Sistemas de Informação Geográfica (do inglês, *Geographic Information System*, GIS) e sensoriamento remoto revolucionou o setor, permitindo decisões estratégicas com base em imagens de satélite, previsões do solo e rastreamento de localização (PANDEY et al., 2023). O uso de Big Data possibilita o armazenamento em larga escala de dados de sensores na nuvem, utilizando sistemas de IoT baseados em *Cloud Computing*. No entanto, a manipulação e redução de grandes volumes de dados em informações específicas para problemas pontuais ainda é um desafio.

Na agricultura 4.0, a combinação de Big Data e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) tem transformado as operações agrícolas em processos altamente orientados por dados. O GIS, em particular, destaca-se como uma ferramenta essencial para a visualização de dados na agricultura, proporcionando representações visuais claras e acessíveis de dados complexos. Essas visualizações ajudam agricultores e gestores a identificar padrões, correlacionar variáveis e compreender a relação entre diferentes aspectos dos dados agrícolas em um contexto geográfico. Por exemplo, mapas interativos criados com GIS permitem monitorar condições ambientais, alocar recursos de maneira eficiente e planejar estratégias para aumento de produtividade (BUTORA et al., 2022).

Além disso, o GIS desempenha um papel crítico no suporte às regulamentações de segurança alimentar e uso de pesticidas, bem como na mitigação de conflitos de uso da terra. Ao integrar dados de sensores remotos e GPS, o GIS fornece informações sobre a saúde das culturas e a utilização de recursos naturais, ajudando os agricultores a reduzir custos e a gerenciar suas propriedades de maneira mais sustentável. A capacidade de visualizar e analisar *Big Data* de forma geoespacial tem sido fundamental para transformar a agricultura 4.0, tornando-a mais eficiente e resiliente frente aos desafios globais.

Em outra linha, a tecnologia IoT gera uma quantidade significativa de dados em tempo real sobre as atividades agrícolas e ao longo de toda a cadeia de suprimento, conectando, de forma sem fio, diferentes itens e equipamentos em todas as etapas da agricultura. Nesse contexto, as transações tornam-se fontes relevantes de dados, além disso, dispositivos robóticos e sensores geram dados não tradicionais, como imagens, vídeos e outras informações automatizadas. As redes sociais também se destacam como uma fonte importante de dados gerados por usuários. Esse amplo e variado conjunto de dados oferece, de maneira inédita, a possibilidade de acesso a informações detalhadas e a tomada de decisões mais informadas (MOUTAOUAKIL et al., 2022).

A gestão de dados desempenha um papel crucial na agricultura 4.0, viabilizando o uso de ferramentas analíticas para converter dados complexos e heterogêneos em informações úteis. Dados históricos, sensores, transmissões ao vivo, informações industriais e de mercado formam um conjunto amplo e diversificado que precisa ser organizado e analisado de forma eficiente. A aplicação de *Big Data* possibilita a geração de informações preditivas sobre operações agrícolas, a tomada de decisões em tempo real e a redefinição de processos, transformando a natureza e a estrutura da atividade agrícola. Estas aplicações são essenciais para enfrentar desafios relevantes, como o aumento da eficiência, a segurança alimentar, o combate às mudanças climáticas e a sustentabilidade do setor.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esse capítulo apresenta detalhes da execução do estudo, como a abordagem realizada, as ferramentas aplicadas e a metodologia empregada.

Conforme apresentado na Seção 1.1, o intuito deste estudo é realizar uma revisão de literatura sobre a agricultura 4.0 e tecnologias emergentes. Neste contexto, serão selecionados estudos para análise que contenham tanto o tema agricultura 4.0 quanto o uso de alguma das tecnologias emergentes: Inteligência Artificial, IoT, *Big Data* e *Blockchain*.

Para a execução da pesquisa e seleção dos artigos e estudos, foi utilizada uma abordagem com o método de revisão sistemática (KITCHENHAM, 2004).

A revisão sistemática de literatura é uma metodologia para identificar, avaliar e interpretar pesquisas relevantes disponíveis sobre uma questão de pesquisa específica, um tópico ou uma área de interesse. Um dos principais objetivos para a realização de uma revisão sistemática de literatura é sumarizar estudos existentes sobre um tópico do conhecimento, como por exemplo a agricultura 4.0.

Uma revisão sistemática pode ser dividida em três principais etapas, sendo: planejamento, condução e reporte da revisão.

A fase de planejamento visa identificar a necessidade de uma revisão da literatura e o desenvolvimento do protocolo de revisão. A próxima etapa, de condução, visa identificar os estudos alvo de revisão, realizar a seleção dos estudos primários e extração dos dados e informação destes estudos. Já a fase final, de reporte, a apresentação dos resultados e discussão identificados durante o processo de revisão.

Esta seção irá apresentar e detalhar as duas primeiras fases de uma revisão de literatura, o planejamento e condução.

A questão principal deste estudo é identificar e analisar estudos sobre o tema agricultura 4.0 e o uso de tecnologias emergentes. Para isso, foram elaborados duas perguntas

principais a serem respondidas:

1. Como as tecnologias emergentes, como IoT, Inteligência Artificial, *Big Data* e *Blockchain* estão sendo utilizadas nos seguintes setores da agricultura 4.0?
 - (a) Manufatura
 - (b) Produção
 - (c) Logística
2. Quais os seus principais desafios?

A seleção dos estudos nos banco de dados foram realizados durante os meses de Julho à Agosto de 2024, em inglês. Para a obtenção dos estudos foram utilizados dois periódicos: *IEEE Xplore Digital Library* e *ACM Digital Library*.

No planejamento, foram estabelecidas palavras-chaves para serem usadas no texto de busca dos periódicos:

Agriculture 4.0

AI

Artificial intelligence

Bigdata

Big Data

Blockchain

Emerging technologies

Internet of thing

IoT

Baseado nas palavras-chaves, foi elaborada a consulta de pesquisa (*query*) padrão para uso nos dois períodos:

((*"Agriculture 4.0"*) AND (*"AI"*OR *"Artificial intelligence"*OR *"Bigdata"*OR *"Big Data"*OR *"Blockchain"*OR *"Emerging technologies"*OR *"Internet of thing"*OR *"IoT"*))

Os trabalhos foram obtidos dos dois periódicos citados anteriormente para o período de 2019 a 2023 (5 anos), a busca resultou em um total de 102 trabalhos, sendo 78 provenientes da *IEEE Xplore Digital Library* e 24 da *ACM Digital Library*, Figura 1.

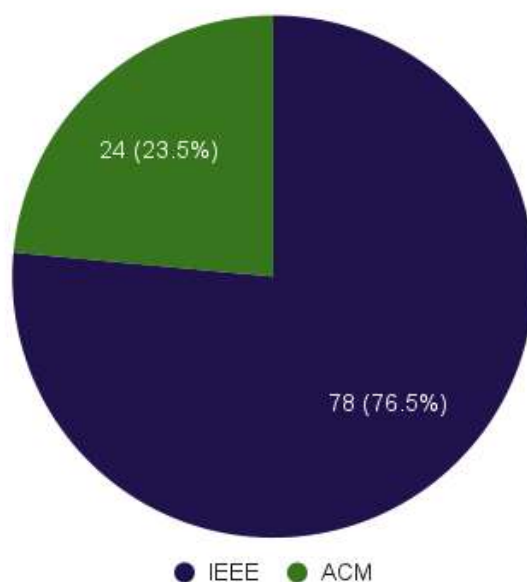


Figura 1: Total de trabalhos selecionados por periódico

Fonte: Autoria própria

Posteriormente, estes trabalhos passaram pelo processo de seleção primária, onde tiveram seu título e resumo lidos com o objetivo de remover trabalhos que não se enquadrar no objetivo deste trabalho, do volume inicial 102, 23 foram selecionados para a etapa de extração de conteúdo, Figura 2.

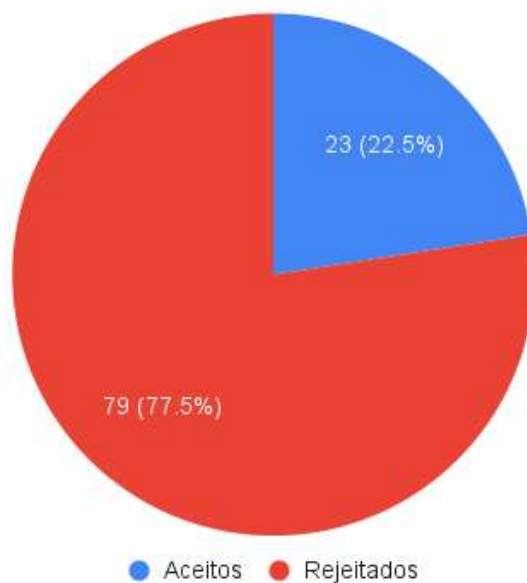


Figura 2: Total de trabalhos aceitos e rejeitados

Fonte: Autoria própria

Na extração de conteúdo, todos os trabalhos foram analisados por completo, classificados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão definidos abaixo:

Inclusão: Trabalhos publicados em periódicos de científicos

Inclusão: Trabalhos publicados de 2019 a 2023

Inclusão: Trabalhos que apresentem, direta ou indiretamente, o uso de tecnologias emergentes na agricultura 4.0

Exclusão: Trabalhos com mais de 5 anos

Exclusão: Trabalhos que não tratam sobre os setores de manufatura, produção e logística

Exclusão: Trabalhos que não apresentem os critérios apresentados acima

Após isso a extração de conteúdos foi realizada, dos 23 trabalhos 20 atenderam os critérios de inclusão e exclusão e tiveram seus conteúdos analisados, Figura 3.

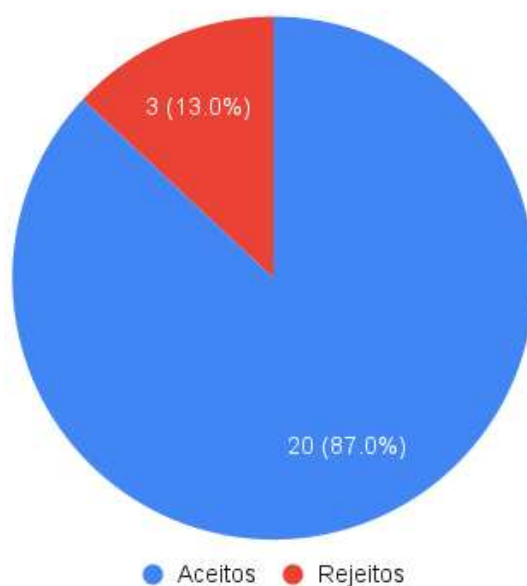


Figura 3: Total de trabalhos analisados

Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na Seção 3, a principal questão levantada neste trabalho é sobre identificar e analisar estudos sobre o tema da agricultura 4.0 e o uso de tecnologias emergentes, sendo elaboradas 2 perguntas a serem respondidas:

1. Como as tecnologias emergentes, como IoT, Inteligência Artificial, *Big Data* e *Blockchain* estão sendo utilizadas nos seguintes setores da agricultura 4.0?
 - (a) Manufatura
 - (b) Produção
 - (c) Logística
2. Quais os seus principais desafios?

Os estudos foram analisados seguindo uma classificação em três (3) setores da agricultura: manufatura, produção e logística; e em quatro (4) tecnologias emergentes: IoT, Inteligência Artificial, *Big Data* e *Blockchain*. A Tabela 1 apresenta cada um dos 20 estudos analisados e os classifica em cada um dos setores de atividade da agricultura; a Tabela 2 em cada uma das tecnologias emergentes.

Tabela 1: Estudos classificados conforme o setor de atividade da agricultura.

Estudo	Manufatura	Produção	Logística	Autores
<i>A Design of IoT-based Platform for Monitoring Environmental Factors Affecting Plant Growth</i>		X		Liaw et al. (2023)

Tabela 1: continuação

Estudo	Manufatura	Produção	Logística	Autores
<i>A seedling handling system in a hydroponic greenhouse for homogeneous crop growth</i>		X		Caruso et al. (2023)
<i>A Soil pH Sensor and a Based on Time-Series Prediction IoT System for Agriculture</i>		X		Aguiar e Barros (2023)
<i>Agriculture 4.0: How Use Traceability Data to Tell Food Product to the Consumers</i>			X	Corallo et al. (2020)
<i>AI-based Autonomous Paddy Farm using Smart and Precise Irrigation System</i>		X		Pongiannan et al. (2023)
<i>Analysing agricultural information through machine learning and artificial intelligence for SMART IRRIGATION</i>		X		Lakshmi et al. (2023)
<i>Analysis of the variables that affect the intention to adopt Precision Agriculture for smart water management in Agriculture 4.0 context</i>		X		Monteleone et al. (2019)

Tabela 1: continuação

Estudo	Manufatura	Produção	Logística	Autores
<i>Development of IoT based Monitoring and Control System for Small Industrial Greenhouses</i>		X		Zabasta et al. (2021)
<i>Digital agriculture for urban crops: design of an IoT platform for monitoring variables</i>		X		Tovar-Soto et al. (2022)
<i>Edge-AI Platform for Realtime Wildlife Repelling</i>		X		Tamburello et al. (2022)
<i>Enhancing Water Efficiency and Crop Yield in Agriculture Sector using IoT</i>		X		Badoni et al. (2023)
<i>Farmer Connect"- A Step Towards Enabling Machine Learning based Agriculture 4.0 Efficiently</i>			X	Desai e Bohara (2021)
<i>Iot based livestock precision feeding system using machine learning</i>		X		Sokullu et al. (2022)
<i>IoT-based Solution to Reduce Waste and Promote a Sustainable Farming Industry</i>		X		Stefanuto et al. (2023)
<i>Proposal of an IoT Architecture for Greenhouse Monitoring</i>		X		Lisnic et al. (2022)

Tabela 1: continuação

Estudo	Manufatura	Produção	Logística	Autores
<i>Proposed Agricultural Internet of Things (AIoT) Based Intelligent System of Disease Forecaster for Agri-Domain</i>		X		Abbas et al. (2023)
<i>Real-Time Vital Signs Monitoring System Towards Livestock Health Furtherance</i>		X		Reigones e Gaspar (2021)
<i>Smart Irrigation System for Precision Agriculture—The AREThOU5A IoT Platform</i>		X		Boursianis et al. (2020)
<i>SocialCattle: IoT-Based Mastitis Detection and Control Through Social Cattle Behavior Sensing in Smart Farms</i>		X		Feng et al. (2021)
<i>The Potential Role of Hydrometeorological Data in Agricultural Supply Chain</i>		X		Čornák e Delina (2021)

Tabela 2: Estudos classificados conforme as tecnologias emergentes utilizadas.

Estudo	IoT	Inteligência Artificial	Big Data	Blockchain
<i>A Design of IoT-based Platform for Monitoring Environmental Factors Affecting Plant Growth</i>	X			

Tabela 2: continuação

Estudo	IoT	Inteligência Artificial	Big Data	Blockchain
<i>A seedling handling system in a hydroponic greenhouse for homogeneous crop growth</i>	X	X		
<i>A Soil pH Sensor and a Based on Time-Series Prediction IoT System for Agriculture</i>	X	X		
<i>Agriculture 4.0: How Use Traceability Data to Tell Food Product to the Consumers</i>	X		X	
<i>AI-based Autonomous Paddy Farm using Smart and Precise Irrigation System</i>	X	X		
<i>Analysing agricultural information through machine learning and artificial intelligence for SMART IRRIGATION</i>	X	X		
<i>Analysis of the variables that affect the intention to adopt Precision Agriculture for smart water management in Agriculture 4.0 context</i>	X			
<i>Development of IoT based Monitoring and Control System for Small Industrial Greenhouses</i>	X			
<i>Digital agriculture for urban crops: design of an IoT platform for monitoring variables</i>	X			
<i>Edge-AI Platform for Realtime Wildlife Repelling</i>	X	X		
<i>Enhancing Water Efficiency and Crop Yield in Agriculture Sector using IoT</i>	X			

Tabela 2: continuação

Estudo	IoT	Inteligência Artificial	Big Data	Blockchain
<i>Farmer Connect"- A Step Towards Enabling Machine Learning based Agriculture 4.0 Efficiently</i>		X		X
<i>Iot based livestock precision feeding system using machine learning</i>	X	X		
<i>IoT-based Solution to Reduce Waste and Promote a Sustainable Farming Industry</i>	X			
<i>Proposal of an IoT Architecture for Greenhouse Monitoring</i>	X	X		
<i>Proposed Agricultural Internet of Things (AIoT) Based Intelligent System of Disease Forecaster for Agri-Domain</i>	X	X	X	
<i>Real-Time Vital Signs Monitoring System Towards Livestock Health Furtherance</i>	X			
<i>Smart Irrigation System for Precision Agriculture—The AREThOU5A IoT Platform</i>	X			
<i>SocialCattle: IoT-Based Mastitis Detection and Control Through Social Cattle Behavior Sensing in Smart Farms</i>	X			
<i>The Potential Role of Hydrometeorological Data in Agricultural Supply Chain</i>		X		

Conforme observado nas tabelas apresentadas anteriormente, dos 20 trabalhos analisados, 18 (90%) estão voltados para o setor de produção agrícola, enquanto 2 (10%) se referem ao setor de logística. Em relação às tecnologias emergentes, 18 (90%) abordam IoT, 10 (50%) tratam de IA, 2 (10%) exploram *Big Data* e 1 (5%) menciona *Blockchain*.

Sobre logística, o trabalho de Desai e Bohara (2021) apresenta uma proposta de plataforma para conectar vendedores e compradores de *commodities*, onde, através da plataforma, é possível precificar o preço da *commodity* com um modelo de IA e garantir a transação segura utilizando a tecnologia *Blockchain*. Com essa solução, o produtor pode apresentar uma proposta de venda com um valor previsto, maximizando os lucros e benefícios da produção.

Já o trabalho de Corallo et al. (2020) propõe um modelo de rastreabilidade de produtos alimentícios, coletando informações desde o seu cultivo, transformação, envase, distribuição e por fim a venda. O modelo do trabalho visa apresentar uma plataforma com diversas camadas, onde o consumidor pode ter acesso aos dados de seu produto do início ao fim.

Dos 18 trabalhos relacionados à produção na agricultura, 15 (83%) tratam sobre cultivo de vegetais com grande foco em irrigação, e 3 (17%) sobre criação bovina e/ou equina.

Os trabalhos Pongiannan et al. (2023), Lakshmi et al. (2023), Monteleone et al. (2019), Zabasta et al. (2021), Badoni et al. (2023), Stefanuto et al. (2023), Lisnic et al. (2022), Boursianis et al. (2020) estão ligados ao uso de IoT e IA para controle de irrigação em cultivos de vegetais. O uso principal do IoT é para a coleta de dados, como: temperatura, umidade do ar, umidade do solo, CO₂ e consumo de água e energia que são utilizados para a análise de dados e elaboração de modelos de IA. Dentre os estudos citados, os trabalhos de Pongiannan et al. (2023), Lakshmi et al. (2023) e Lisnic et al. (2022), apresentam propostas de modelos de IA, dentre eles, Regressão Logística, K-NN (*K-Nearest Neighbors*), *Naive Bayes*, SVM (*Support Vector Machine*) e *Random Forest*, obtendo resultados com redução de até 50% no consumo de água.

Com o foco em previsão de produção e fatores que afetam o crescimento das plantas, os trabalhos de Liaw et al. (2023) e Čornák e Delina (2021), utilizam dados de IoT (primeiro estudo) e dados de satélite (segundo estudo) para a previsão e estimativa de rendimento da produção. O Aguiar e Barros (2023) apresenta o uso de dados de pH do solo obtidos através de sensores IoT para o treinamento de modelos de séries temporais com LSTM (*Long-Term Memory Architecture*), o pH do solo é um indicador crítico relacionado ao crescimento das plantas, sendo sua previsão de grande valor.

Dos 20 trabalhos analisados, 3 apresentam propostas sobre a área da agricultura bovina. O Sokullu et al. (2022) descreve um sistema com o uso de IoT e IA para a captura de dados de alimentação animal com o objetivo de identificar os melhores horários

e quantidade de alimentação. Já o estudo Reigones e Gaspar (2021) usa IoT para a coleta de dados de movimentação e saúde animal (eletrocardiograma e batimentos) com o objetivo de detectar doenças. Na mesma linha de saúde animal, o Feng et al. (2021) se utiliza de dados de GPS e modelos matemáticos de propagação para identificar a proliferação de animais doentes por mastite.

Como visto, dos trabalhos analisados, 90% se utilizam da tecnologia emergente IoT para a obtenção de dados sobre a agricultura, tanto animal quanto vegetal, para os mais diversos objetivos, seja redução de custos, melhoria de rendimento de produção ou rastreamento e logística. Além disso, a IA está presente em 50% dos estudos, sendo, juntamente com a IoT, uma das principais tecnologias emergentes utilizadas. O principal objetivo é buscar previsões e identificar padrões.

O principal desafio discutido foi a dificuldade de implementar as tecnologias propostas em larga escala, devido ao custo de desenvolvimento e implementação, que pode ser um obstáculo para pequenos e médios produtores.

Destaca-se a escassez de estudos sobre a aplicação de *Blockchain* na agricultura 4.0. Além disso, há uma ausência de trabalhos que explorem o uso de tecnologias emergentes no setor de manufatura, evidenciando a necessidade de mais pesquisas nessa área, o que limita a compreensão do potencial dessas inovações para otimizar processos, aumentar a eficiência e promover a sustentabilidade nesse campo.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho ressaltou a relevância da agricultura 4.0, refletindo o impacto das tecnologias emergentes na eficiência e sustentabilidade do setor. A análise da literatura mostrou que a integração de tecnologias como IoT e Inteligência Artificial tem potencializado a produtividade agrícola, especialmente na irrigação e produção de cultivos vegetais. Os dados demonstraram que a grande maioria dos trabalhos revisados concentrou-se na produção agrícola, evidenciando um foco significativo na coleta e análise de dados para otimizar processos e recursos, o que reforça a importância da transformação digital no campo.

A análise dos 20 trabalhos sobre agricultura 4.0 evidenciou uma predominância de pesquisas voltadas para o setor de produção agrícola, com 90% dos estudos concentrados nessa área e apenas 10% direcionados à logística. Além disso, a tecnologia IoT se destacou como a mais utilizada (90%), seguida pela IA (50%), enquanto *Big Data* e *Blockchain* apresentaram uma presença limitada, indicando o papel predominante dessas tecnologias emergentes na coleta e análise de dados para melhorar a produção agrícola. Os trabalhos relacionados à logística exploraram soluções inovadoras, como a plataforma de negociação e precificação de commodities baseada em IA e *Blockchain* proposta por Desai e Bohara (2021) e o modelo de rastreabilidade alimentar de Corallo et al. (2020), que buscam aumentar a eficiência e a transparência na cadeia de suprimentos.

Nos estudos voltados à produção, foi observado um grande foco na agricultura vegetal, em especial no controle de irrigação e previsão de fatores que influenciam o crescimento das plantas. A IoT foi amplamente utilizada para coletar dados ambientais e operacionais, que, combinados com IA, resultaram em modelos de previsão capazes de reduzir significativamente o consumo de água. Por outro lado, os poucos estudos sobre pecuária utilizaram a IoT e a IA para monitorar a alimentação e a saúde dos animais, propondo métodos para aprimorar o manejo animal e a detecção precoce de doenças.

No entanto, diversos desafios foram identificados, sendo o principal a dificuldade de implementação dessas tecnologias em larga escala, especialmente entre pequenos e médios

produtores, devido aos altos custos envolvidos. Além disso, constatou-se uma escassez de estudos sobre a aplicação de *Blockchain*, limitando o entendimento do potencial dessa tecnologia para garantir a rastreabilidade e a segurança de dados. A ausência de pesquisas voltadas ao setor de manufatura sugere uma oportunidade para futuros estudos explorarem o uso de tecnologias emergentes nesse setor, com o objetivo de promover uma agricultura mais eficiente e sustentável.

Em suma, a agricultura 4.0 demonstra um grande potencial para transformar o setor agrícola, mas enfrenta desafios significativos de implementação. Os avanços na IoT e IA já mostram resultados promissores, mas a expansão para outras áreas e o desenvolvimento de soluções mais acessíveis serão fundamentais para ampliar o alcance e a eficácia dessas tecnologias.

5.1 Trabalhos futuros

Com base nas limitações e lacunas identificadas nesta revisão, recomenda-se que estudos futuros explorem três principais áreas para ampliar o impacto das tecnologias emergentes na agricultura 4.0.

Primeiro, é necessário expandir a aplicação de tecnologias emergentes para o setor de manufatura agrícola. Este setor, que abrange o processamento e transformação de produtos agrícolas, permanece inexplorado, embora tenha grande potencial para beneficiar-se de soluções baseadas em IoT, IA e *Big Data*. Estudos focados em como essas tecnologias podem otimizar processos, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade e rastreabilidade dos produtos são essenciais para promover uma agricultura mais eficiente e sustentável.

Segundo, considerando a baixa presença da tecnologia *Blockchain* nos estudos analisados, sugere-se uma maior investigação sobre o uso dessa tecnologia para rastreamento, segurança e transparência nas cadeias de suprimentos agrícolas. *Blockchain* pode proporcionar segurança em transações e rastreabilidade de produtos, o que é fundamental em um cenário onde a sustentabilidade e a responsabilidade social são cada vez mais valorizadas. Trabalhos futuros poderiam explorar, por exemplo, o uso do *Blockchain* para certificar a origem dos produtos e assegurar práticas sustentáveis de produção.

Terceiro, é importante desenvolver estudos voltados para a viabilidade econômica e a escalabilidade das tecnologias emergentes, especialmente para pequenos e médios produtores. Projetos de pesquisa poderiam focar em métodos de baixo custo e acessíveis para implementação de IoT e IA, analisando como essas tecnologias podem ser adaptadas para

diversas realidades econômicas. A criação de parcerias com órgãos governamentais, cooperativas e empresas de tecnologia também poderia ser avaliada, visando oferecer incentivos ou reduzir o custo das tecnologias para esses produtores.

Além disso, recomenda-se uma maior atenção à integração entre tecnologias emergentes, como o uso combinado de IA e IoT com *Blockchain*, para oferecer soluções mais robustas e integradas. Essas tecnologias, quando aplicadas de forma complementar, podem gerar dados mais confiáveis e proporcionar uma visão mais holística da cadeia de produção agrícola, melhorando tanto a eficiência quanto a transparência do setor.

Essas direções sugeridas para trabalhos futuros buscam preencher as lacunas atuais e contribuir para a consolidação da agricultura 4.0, promovendo uma transformação mais inclusiva e sustentável para o setor agrícola.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, T.; JANJUA, J. I.; IRFAN, M. Proposed agricultural internet of things (aiot) based intelligent system of disease forecaster for agri-domain. In: IEEE. **2023 International Conference on Computer and Applications (ICCA)**. [S.l.], 2023. p. 1–6.
- AGUIAR, S.; BARROS, E. A soil ph sensor and a based on time-series prediction iot system for agriculture. In: IEEE. **2023 XIII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)**. [S.l.], 2023. p. 1–6.
- BADONI, P.; KAUR, S.; SHARMA, B.; WALIA, R. Enhancing water efficiency and crop yield in agriculture sector using iot. In: IEEE. **2023 International Conference on Advances in Computation, Communication and Information Technology (ICAICCIT)**. [S.l.], 2023. p. 1039–1044.
- BERTOGLIO, R.; CORBO, C.; RENGA, F. M.; MATTEUCCI, M. The digital agricultural revolution: A bibliometric analysis literature review. **IEEE Access**, v. 9, p. 134762–134782, 2021.
- BOURSIANIS, A. D.; PAPADOPOULOU, M. S.; GOTSIS, A.; WAN, S.; SARIGIANIDIS, P.; NIKOLAIDIS, S.; GOUDOS, S. K. Smart irrigation system for precision agriculture—the arethou5a iot platform. **IEEE Sensors Journal**, IEEE, v. 21, n. 16, p. 17539–17547, 2020.
- BUTORA, A.; SOLONIEWICZ, B.; SCHWARTZ, C.; AZIZ, C.; SU, S.; MAHMOUD, M. The practical use of gis in agriculture. In: **2022 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1525–1529.
- CARUSO, G.; TAMBURELLO, M.; BUA, C.; ADAMI, D.; GIORDANO, S. A seedling handling system in a hydroponic greenhouse for homogeneous crop growth. In: IEEE. **2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)**. [S.l.], 2023. p. 1–6.
- CORALLO, A.; LATINO, M. E.; MENEGOLI, M. Agriculture 4.0: How use traceability data to tell food product to the consumers. In: IEEE. **2020 9th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)**. [S.l.], 2020. p. 197–201.
- ČORŇÁK, A.; DELINA, R. The potential role of hydrometeorological data in agricultural supply chain. In: IEEE. **2021 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)**. [S.l.], 2021. p. 1247–1252.
- DESAI, J.; BOHARA, M. H. Farmer connect”—a step towards enabling machine learning based agriculture 4.0 efficiently. In: IEEE. **2021 6th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)**. [S.l.], 2021. p. 1440–1445.

- FENG, Y.; NIU, H.; WANG, F.; IVEY, S. J.; WU, J. J.; QI, H.; ALMEIDA, R. A.; EDA, S.; CAO, Q. Socialcattle: Iot-based mastitis detection and control through social cattle behavior sensing in smart farms. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 9, n. 12, p. 10130–10138, 2021.
- HAN, D. Big data analytics, data science, ml&ai for connected, data-driven precision agriculture and smart farming systems: Challenges and future directions. In: **Proceedings of Cyber-Physical Systems and Internet of Things Week 2023**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 378–384.
- JASIM, A. N.; FOURATI, L. C. Agriculture 4.0 from iot, artificial intelligence, drone, blockchain perspectives. In: **2023 15th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 262–267.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, Citeseer, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.
- LAKSHMI, C.; PAGADALA, A.; BANDAM, S. M.; PENUGONDA, A.; GANGARAJU, B.; GANAPAVARAPU, T.; AMIRTHARAJAN, R.; THANIKAISELVAN, V.; MAHALINGAM, H. Analysing agricultural information through machine learning and artificial intelligence for smart irrigation. In: IEEE. **2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (ViTECoN)**. [S.l.], 2023. p. 1–6.
- LIAW, D.-C.; LEE, C.-C.; MA, X.-Y.; CHUNG, C.-F. A design of iot-based platform for monitoring environmental factors affecting plant growth. In: **2023 IEEE 6th International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 7–10.
- LISNIC, V.; FERRADA, F.; CORREIA, P. Proposal of an iot architecture for greenhouse monitoring. In: IEEE. **2022 International Young Engineers Forum (YEF-ECE)**. [S.l.], 2022. p. 45–51.
- LIU, Y.; MA, X.; SHU, L.; HANCKE, G. P.; ABU-MAHFOUZ, A. M. From industry 4.0 to agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, IEEE, v. 17, n. 6, p. 4322–4334, 2020.
- MONTELEONE, S.; MORAES, E. A. D.; MAIA, R. F. Analysis of the variables that affect the intention to adopt precision agriculture for smart water management in agriculture 4.0 context. **2019 Global IoT Summit (GIoTS)**, IEEE, p. 1–6, 2019.
- MOUTAOUAKIL, K. E.; JABIR, B.; FALIH, N. Agriculture 4.0: Literature review and application challenges in the “beni mellal-khenifra” region. In: **2022 8th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–6.
- NARVAEZ, F. Y.; REINA, G.; TORRES-TORRITI, M.; KANTOR, G.; CHEEIN, F. A. A survey of ranging and imaging techniques for precision agriculture phenotyping. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 22, n. 6, p. 2428–2439, 2017.
- PANDEY, S.; GEHLOT, A.; PANDEY, V.; KATHURIA, N.; CHHABRA, G.; MALIK, P. K. Subsuming ai, iot and big data in smart farm practices. In: **2023 IEEE Devices for Integrated Circuit (DevIC)**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 229–232.

- PONGIANNAN, R.; BRINDHA, R.; AKBAR, S. A.; PRAVIN, A. R.; FRANKLIN, J.; PEMILA, M. Ai-based autonomous paddy farm using smart and precise irrigation system. In: IEEE. **2023 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)**. [S.l.], 2023. p. 1–5.
- RAPELA, M. A. **Fostering innovation for agriculture 4.0**. [S.l.]: Springer, 2019.
- REIGONES, A. R.; GASPAR, P. D. Real-time vital signs monitoring system towards livestock health furtherance. In: IEEE. **2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)**. [S.l.], 2021. p. 753–758.
- SOKULLU, R.; TANRIVERDI, B. Y.; GOLEVA, R. Iot based livestock precision feeding system using machine learning. In: IEEE. **2022 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE)**. [S.l.], 2022. p. 1–4.
- STEFANUTO, B.; FUNCHAL, G.; MELO, V.; MENDES, A.; RAIMUNDO, D.; GOUVEIA, H.; COELHO, J. P.; LEITÃO, P. Iot-based solution to reduce waste and promote a sustainable farming industry. In: IEEE. **2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)**. [S.l.], 2023. p. 1–6.
- TAMBURELLO, M.; CARUSO, G.; GIORDANO, S.; ADAMI, D.; OJO, M. Edge-ai platform for realtime wildlife repelling. In: IEEE. **2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)**. [S.l.], 2022. p. 80–84.
- TOVAR-SOTO, J.; GONZÁLEZ, M. O.; SÁNCHEZ, J. A. S. Digital agriculture for urban crops: design of an iot platform for monitoring variables. In: IEEE. **2022 IEEE International Conference on Automation/XXV Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)**. [S.l.], 2022. p. 1–6.
- ZABASTA, A.; AVOTINS, A.; PORINS, R.; APSE-APSITIS, P.; BICANS, J.; KORABICKA, D. Development of iot based monitoring and control system for small industrial greenhouses. In: IEEE. **2021 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)**. [S.l.], 2021. p. 1–5.