

Agricultura 4.0: O papel das tecnologias emergentes na modernização e sustentabilidade do Setor Agrícola

Patrícia Nunes Costa Reis

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO

Annibal Scavarda

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO

Flávio Vaz Machado

Instituto de Educação Médica (IDOMED) – Rio Janeiro

RESUMO

A Agricultura 4.0, impulsionada por tecnologias como IoT, IA e big data, está transformando a produção agrícola ao aumentar a eficiência, sustentabilidade e competitividade. No entanto, desafios como infraestrutura inadequada, falta de capacitação e sustentabilidade social precisam ser superados para garantir seus benefícios amplos.

Palavras-chave: Agricultura 4.0, Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A Agricultura 4.0, frequentemente considerada como a quarta revolução agrícola, está sendo impulsionada por tecnologias digitais como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e big data. Essas inovações estão reformulando a forma como a produção agrícola é realizada, permitindo maior automação, coleta de dados em tempo real e decisões mais informadas. Essa transformação tecnológica, também conhecida como "Agri-Food 4.0", é uma evolução do conceito de Indústria 4.0, adaptada para o contexto agrícola, com o objetivo de melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos e otimizar a tomada de decisões na agricultura (LEZOCHÉ et al., 2020).

No setor de agricultura intensiva, como o cultivo em estufas, as tecnologias da Agricultura 4.0 são amplamente utilizadas para reduzir erros humanos e garantir a qualidade dos produtos vegetais. Essas inovações incluem o uso de softwares de modelagem matemática, sensores eletrônicos e sistemas de controle automatizados que garantem a segurança e a precisão ao longo do ciclo de produção. Além disso, a conectividade entre plataformas digitais e a internet está se tornando cada vez mais importante para o funcionamento eficiente dessas tecnologias nas estufas (COSTA et al., 2020).

Um dos maiores desafios enfrentados pela Agricultura 4.0 é a implementação de sistemas de suporte à decisão (DSS) que possam coletar e processar grandes volumes de dados sobre condições meteorológicas, solo e demandas de mercado. Esses sistemas são fundamentais para ajudar os agricultores a tomar decisões mais precisas e aumentar a produtividade, mas ainda enfrentam desafios de interoperabilidade,



escalabilidade e acessibilidade. Melhorar esses sistemas pode ser a chave para o sucesso da agricultura digital no futuro (ZHAI et al., 2020).

Além da produtividade, a Agricultura 4.0 também tem implicações sociais e ambientais importantes. Embora o foco inicial tenha sido no aumento da produção e na sustentabilidade ambiental, há uma crescente preocupação com a sustentabilidade social, que muitas vezes é negligenciada. A inclusão das comunidades agrícolas no desenvolvimento dessas tecnologias pode garantir que os benefícios da Agricultura 4.0 sejam amplamente distribuídos e socialmente sustentáveis (ROSE et al., 2021).

Outro aspecto relevante da Agricultura 4.0 é a integração com a economia circular e a sustentabilidade na cadeia de suprimentos agrícola. Tecnologias como o blockchain e a IA estão sendo aplicadas para melhorar a transparência e a eficiência na produção e distribuição de alimentos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e que atendam às exigências dos consumidores por produtos mais saudáveis e rastreáveis (KUMAR et al., 2021).

Em resumo, a Agricultura 4.0 está transformando o setor agrícola ao introduzir tecnologias que permitem uma produção mais precisa, eficiente e sustentável. Ao enfrentar desafios tecnológicos e sociais, essa revolução tem o potencial de garantir a segurança alimentar, melhorar a competitividade e atender às demandas por uma agricultura mais sustentável no futuro. A integração contínua dessas inovações com as necessidades dos agricultores e da sociedade será essencial para o sucesso dessa nova era agrícola (EASHWAR; CHAWLA, 2021).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é realizar uma revisão bibliográfica sobre a Agricultura 4.0, explorando suas principais tecnologias, desafios e oportunidades, com foco na aplicação de inovações IoT, IA, big data, drones e blockchain no setor agrícola. Busca-se compreender como essas tecnologias estão sendo integradas nas práticas agrícolas e de que forma podem contribuir para aumentar a produtividade, promover a sustentabilidade e melhorar a competitividade da cadeia de suprimentos agroalimentar.

3 METODOLOGIA

O estudo tem como metodologia uma revisão bibliográfica realizada por meio das bases de dados Scopus. A coleta de dados foi realizada no mês de setembro de 2024 e não foram adicionadas restrições quanto as datas de publicações dos estudos incluídos para não limitar os resultados. O quadro 1 apresenta a equação de busca inserida em cada base de dados.

Quadro 1: Equação de busca inserida nas bases de dados Scopus e Web of Science

Base de dados	equação de busca	Local	Resultados
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (agriculture 4.0) AND TITLE-ABS-	Título, resumo e	19



	KEY (internet AND of AND things) AND TITLE-ABS-KEY (artificial AND intelligence) AND TITLE-ABS-KEY (big AND data) AND TITLE-ABS-KEY (sustainability))	palavras-chave	
Web of Science	(((ALL=(Agriculture 4.0)) AND ALL=(Internet of Things)) AND ALL=(Artificial Intelligence)) AND ALL=(Big Data)) AND ALL=(Sustainability)	Todas as partes do artigo	21
Total			40

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os critérios de inclusão foram: publicações entre 2019 e 2024, artigos que abordam tecnologias da Agricultura 4.0 e fontes acadêmicas e científicas. Os critérios de exclusão foram: estudos que não tratam diretamente da Agricultura 4.0 e artigos que não se aplicam ao setor agrícola ou que focam em tecnologias não aplicáveis à produção agrícola, como indústrias não relacionadas ou estudos regionais fora do escopo do agronegócio global. A literatura cinzenta não foi rejeitada.

4 DESENVOLVIMENTO

A Agricultura 4.0, com base na convergência de tecnologias digitais, está revolucionando a agricultura tradicional. Essa abordagem, como demonstrado no estudo de Araujo et al. (2021), facilita o crescimento agrícola sustentável ao permitir a tomada de decisões baseadas em dados, garantindo eficiência e sustentabilidade no uso dos recursos (Araujo et al., 2021). Além da precisão proporcionada pelas tecnologias digitais, a Agricultura 4.0 integra o conceito de economia circular. Como evidenciado por Kumar et al. (2021), a introdução de tecnologias conectadas na cadeia de suprimentos agrícola tem o potencial de tornar os processos mais sustentáveis e centrados no cliente, ao mesmo tempo em que promove uma abordagem mais sofisticada para o uso de recursos naturais. No entanto, a implementação dessa transformação tecnológica ainda enfrenta barreiras significativas, como a falta de apoio governamental e de políticas claras (Kumar et al., 2021).

Outro aspecto da Agricultura 4.0 é a integração das novas tecnologias com as operações agrícolas diárias, permitindo uma maior automação. Trivelli et al. (2019) destacam que a agricultura de precisão e a Indústria 4.0 compartilham muitas tecnologias fundamentais, como sensores e redes de sensores, que são utilizados para monitorar e melhorar os processos agrícolas. Essa conexão entre a agricultura e a indústria facilita a transformação digital do setor agrícola, promovendo um aumento na produtividade e na eficiência.

A implementação de sistemas de suporte à decisão (DSS) é um pilar da Agricultura 4.0. Esses sistemas permitem que os agricultores transformem grandes quantidades de dados em informações úteis para a tomada de decisões. Pechlivani et al. (2023) desenvolveram uma arquitetura robusta de DSS que combina IA, blockchain e segurança cibernética para fornecer aos agricultores intervenções oportunas e medidas proativas. Essa inovação contribui significativamente para o gerenciamento integrado de pragas e nutrientes, possibilitando uma agricultura mais sustentável (Pechlivani et al., 2023).



Embora a Agricultura 4.0 traga grandes benefícios em termos de eficiência e sustentabilidade, ela também apresenta desafios sociais. Segundo Rose et al. (2021), a narrativa predominante em torno da Agricultura 4.0 se concentra principalmente nos ganhos de produtividade e nos benefícios ambientais, mas há uma falta de foco na sustentabilidade social. A inclusão de agricultores e outras partes interessadas no desenvolvimento dessas tecnologias é essencial para garantir que os benefícios sejam distribuídos de maneira equitativa.

A transição para a Agricultura 4.0 também está sendo impulsionada por inovações abertas, que facilitam a colaboração entre diferentes atores no setor agroalimentar. Silva et al. (2023) argumentam que a inovação aberta pode aumentar a competitividade do setor, especialmente quando tecnologias como a IoT são adotadas. No entanto, um dos principais desafios é a necessidade de formação técnica dos operadores, para que possam utilizar essas novas tecnologias de forma eficaz. Liu et al. (2020) destacam que as tecnologias emergentes como a robótica, blockchain e big data estão transformando a indústria agrícola. Essas tecnologias são fundamentais para enfrentar os desafios da agricultura moderna, como a necessidade de aumentar a produtividade e reduzir os impactos ambientais. A implementação dessas inovações pode ajudar a moldar o futuro da agricultura, promovendo uma produção mais eficiente e sustentável.

A aplicação de drones no contexto da Agricultura 4.0 também tem sido um tema de pesquisa relevante. Barros et al. (2019) revisaram diferentes métodos de seleção de drones para operações agrícolas e mostraram como essas tecnologias podem aumentar a precisão, economizar tempo e reduzir custos. Os drones são especialmente úteis para o monitoramento de culturas e a detecção precoce de problemas, como doenças ou pragas, permitindo ações corretivas rápidas.

A Agricultura 4.0 também desempenha um papel fundamental no fortalecimento da competitividade do setor agroalimentar. Bešić et al. (2021) destacam que o uso de tecnologias de informação e comunicação é um dos fatores que contribuem para o aumento da competitividade, especialmente em mercados globalizados. A padronização dos processos na cadeia de suprimentos é outra área que pode ser beneficiada pela adoção das tecnologias da Agricultura 4.0.

Diante deste cenário, a Agricultura 4.0 representa uma revolução no modo como as práticas agrícolas são realizadas, integrando tecnologias digitais que permitem uma produção mais eficiente, sustentável e inclusiva. No entanto, é necessário superar as barreiras associadas à implementação dessas tecnologias e garantir que os agricultores e outras partes interessadas sejam integrados ao processo de inovação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Agricultura 4.0 representa uma mudança paradigmática no setor agrícola, introduzindo novas tecnologias e abordagens que prometem transformar radicalmente a forma como os alimentos são produzidos e distribuídos. Ao integrar IoT, IA, big data, drones e outras inovações digitais, essa revolução



tecnológica visa otimizar a produtividade, reduzir desperdícios e promover práticas agrícolas mais sustentáveis. No entanto, para que essa transição seja bem-sucedida, é fundamental que essas tecnologias sejam amplamente acessíveis e integradas de forma coesa às necessidades dos agricultores e à infraestrutura existente.

Um dos grandes desafios na implementação da Agricultura 4.0 está relacionado à infraestrutura tecnológica necessária para suportar essas inovações. A conectividade rural, por exemplo, é um ponto crítico para o funcionamento de plataformas digitais e a coleta de dados em tempo real. A falta de internet de alta qualidade em áreas rurais ainda é uma barreira significativa em muitos países, o que pode comprometer a eficácia dessas tecnologias e limitar os benefícios que elas podem oferecer aos pequenos e médios produtores.

Além disso, a adoção de novas tecnologias na agricultura exige que os agricultores sejam capacitados para operá-las de forma eficaz. O uso de drones, sensores e sistemas de apoio à decisão depende do nível de conhecimento técnico dos operadores. Compreende-se, ainda, que a falta de treinamento especializado ainda é um obstáculo que precisa ser superado para garantir que a Agricultura 4.0 atinja seu pleno potencial. Investimentos em educação e treinamento são essenciais para garantir que os agricultores possam tirar o máximo proveito dessas tecnologias.

Outro aspecto importante a ser considerado é a sustentabilidade social da Agricultura 4.0. Embora a inovação tecnológica ofereça oportunidades significativas para aumentar a produtividade e reduzir os impactos ambientais, é necessário que os benefícios dessas inovações sejam distribuídos de forma equitativa entre todas as partes envolvidas. Isso inclui garantir que os pequenos agricultores não sejam excluídos dessa transformação e que políticas públicas sejam implementadas para apoiar sua participação ativa na revolução digital agrícola.

A integração das cadeias de suprimentos agrícolas com tecnologias digitais, como blockchain e IoT, também promete aumentar a transparência e a eficiência no setor. No entanto, sabe-se que a falta de políticas claras e incentivos governamentais adequados ainda impede a plena adoção dessas tecnologias em muitos mercados. A criação de políticas que incentivem a digitalização das cadeias produtivas agrícolas pode contribuir significativamente para a competitividade do setor em um mercado global cada vez mais exigente e competitivo.

Em conclusão, a Agricultura 4.0 apresenta um enorme potencial para impulsionar a sustentabilidade, a produtividade e a competitividade do setor agrícola. No entanto, sua implementação bem-sucedida dependerá da superação de desafios relacionados à infraestrutura, capacitação, equidade social e políticas públicas. O futuro da agricultura depende da capacidade dos governos, indústrias e agricultores de trabalharem juntos para adotar essas inovações tecnológicas de forma inclusiva e eficaz, garantindo que a revolução digital no campo beneficie a todos.



REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Sara Oleiro et al. Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, v. 11, n. 4, p. 667, 2021.
- BARROS, Heider Silva et al. Auxiliando o processo decisório na agricultura 4.0: revisando os métodos ordinais na seleção de drones. *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, v. 19, p. 1-13, 2019.
- BEŠIĆ, Cariša et al. Agriculture 4.0 and improving competitiveness of the domestic agro-food sector. *Економика пољопривреде*, v. 68, n. 2, p. 531-545, 2021.
- CHIARELLO, Filippo; TARABELLA, Angela. *From precision agriculture to Industry 4.0*. 2019.
- COSTA, Edilson et al. Greenhouses within the Agricultura 4.0 interface. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. spe, p. e20207703, 2020.
- EASHWAR, S.; CHAWLA, Paras. Evolution of agritech business 4.0—architecture and future research directions. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. p. 012011.
- KUMAR, Shashank et al. To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. *Journal of Cleaner Production*, v. 293, p. 126023, 2021.
- LEZOCHÉ, Mario et al. Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in industry*, v. 117, p. 103187, 2020.
- LIU, Ye et al. From industry 4.0 to agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. *IEEE transactions on industrial informatics*, v. 17, n. 6, p. 4322-4334, 2020.
- PECHLIVANI, Eleftheria Maria et al. Towards Sustainable Farming: A Robust Decision Support System's Architecture for Agriculture 4.0. In: *2023 24th International Conference on Digital Signal Processing (DSP)*. IEEE, 2023. p. 1-5.
- ROSE, David Christian et al. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land use policy*, v. 100, p. 104933, 2021.
- SILVA, Francisco Tardelli da et al. Open innovation in agribusiness: Barriers and challenges in the transition to agriculture 4.0. *Sustainability*, v. 15, n. 11, p. 8562, 2023.
- ZHAI, Zhaoyu et al. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 170, p. 105256, 2020.