

TECNOLOGIAS EMERGENTES E SOLUÇÕES PARA AGRICULTURA CLIMATICAMENTE INTELIGENTE: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

Wesley Vinicius Fernandes¹, Maria Salete Marcon Gomes Vaz²

¹Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil (240401400010@uepg.br)

²Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil (salete@uepg.br)

Resumo: Este estudo analisa o papel de tecnologias como IoT, IA e blockchain na Agricultura Climaticamente Inteligente. A IoT monitora variáveis em tempo real, a IA otimiza a produtividade com modelos preditivos e o blockchain garante rastreabilidade. Apesar do potencial, identificam-se barreiras de custo, interoperabilidade e falta de validação local. Propõem-se estratégias de inclusão digital e padronização global para fortalecer a resiliência agrícola.

Palavras-chave: Agricultura Climaticamente Inteligente; Tecnologias Emergentes; Resiliência Climática; Internet Das Coisas; Blockchain.

INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha um papel central na garantia da segurança alimentar e no desenvolvimento econômico global (FAO et al., 2023). Contudo, as mudanças climáticas impõem desafios sem precedentes a este setor, ameaçando sua capacidade de atender à crescente demanda por alimentos de maneira sustentável. Fenômenos como variações extremas de temperatura, chuvas irregulares, aumento da frequência de eventos climáticos severos, e alterações nos padrões de estações têm impactado diretamente a produtividade agrícola, trazendo implicações severas para a estabilidade de comunidades rurais e sistemas alimentares (IPCC, 2022; FAO et al., 2023).

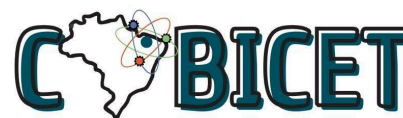
Nesse contexto, o conceito de agricultura climaticamente inteligente tem se consolidado como uma abordagem integradora, focada na promoção da resiliência dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas (FAO, 2013). Esta abordagem se fundamenta em três pilares principais propostos pela FAO (2013): a melhoria da produtividade agrícola de forma sustentável, a adaptação e resiliência às adversidades climáticas, e a redução das emissões de gases de efeito estufa associadas às práticas agrícolas. Para alcançar esses objetivos, a ciência e a tecnologia desempenham um papel fundamental, oferecendo ferramentas e soluções inovadoras.

Entre as tecnologias emergentes que têm transformado a agricultura, destacam-se a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) e o blockchain. Estas inovações possibilitam desde o monitoramento em tempo real das condições ambientais até a tomada de decisões mais precisas, baseadas em análises preditivas e modelagens

avanzadas (Gryshova et al., 2024; Smith et al., 2022). Além disso, o blockchain oferece vantagens relacionadas à rastreabilidade e à transparência, permitindo maior confiabilidade nos mercados agrícolas (Smith et al., 2022). No entanto, a adoção dessas tecnologias enfrenta barreiras importantes, como a baixa acessibilidade para pequenos agricultores, a ausência de validação local para modelos preditivos e os desafios na interoperabilidade de dados oriundos de fontes heterogêneas (López et al., 2023; Gryshova et al., 2024).

Considerando esses desafios, este estudo busca oferecer uma análise sobre os avanços e as limitações das tecnologias emergentes aplicadas à agricultura climaticamente inteligente a partir dos estudos de Gryshova et al. (2024), López et al. (2023) e Smith et al. (2022). Com base em uma revisão de literatura comparativa, o trabalho se propõe identificar lacunas existentes na aplicação dessas ferramentas e sugerir propostas práticas para superar essas dificuldades. Além disso, o estudo visa contribuir para o debate sobre como essas tecnologias podem ser integradas em diferentes contextos socioeconômicos, promovendo uma agricultura mais resiliente, inclusiva e sustentável frente às adversidades climáticas do século XXI.

Com essa análise, espera-se não apenas apontar caminhos para o avanço tecnológico no setor agrícola, mas também reforçar a importância da integração de pequenos agricultores e comunidades rurais no processo de inovação. Somente com uma abordagem inclusiva e adaptada às realidades locais será possível maximizar o potencial das tecnologias emergentes e promover um sistema agrícola global



preparado para os desafios climáticos atuais e futuros.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia do estudo consistiu em uma análise comparativa de artigos científicos que abordam o uso de tecnologias emergentes na agricultura climaticamente inteligente. O processo foi organizado em etapas claras, iniciando pela seleção de artigos relevantes ao tema no Portal de Periódicos CAPES, abrangendo produções científicas publicadas entre 2022 e 2024. Os critérios para escolha incluíram o foco em tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e blockchain, com aplicação na gestão de dados heterogêneos e não convencionais no setor agrícola. Além disso, foram priorizados estudos que discutem a inclusão de pequenos agricultores nos avanços tecnológicos.

Após a seleção dos três estudos, realizou-se uma análise de conteúdo dos artigos para identificar as principais contribuições tecnológicas. Esse processo buscou compreender os benefícios das práticas analisadas, principalmente no aumento da produtividade e na promoção da sustentabilidade agrícola. Durante essa etapa, também foram apontadas lacunas nos estudos, como a falta de validação local para modelos preditivos e os desafios de interoperabilidade de dados heterogêneos.

Com base nessa análise, destacaram-se barreiras significativas ao avanço das tecnologias, como a baixa acessibilidade para pequenos agricultores e limitações na aplicação prática das soluções em contextos locais variados. Por fim, foram elaboradas propostas para enfrentar esses desafios, incluindo estratégias para validação local de modelos tecnológicos, sugestões de políticas públicas que ampliem a acessibilidade das tecnologias e o desenvolvimento de padrões de interoperabilidade de dados agrícolas.

Essa abordagem metodológica permitiu compreender tanto os avanços quanto os desafios no uso de tecnologias emergentes na agricultura, fornecendo uma base para o desenvolvimento de soluções práticas e aplicáveis ao contexto real.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparação entre os estudos

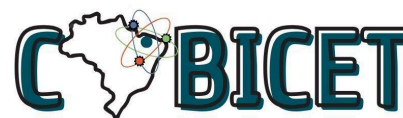
O uso de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Blockchain, na agricultura climaticamente inteligente tem sido amplamente discutido na literatura. Esses estudos buscam não apenas aumentar a eficiência da produção agrícola, mas também melhorar a resiliência dos sistemas agrícolas diante das mudanças climáticas.

A Agricultura Climaticamente Inteligente é um conceito emergente que visa alinhar os objetivos de sustentabilidade, produtividade e resiliência climática nos sistemas agrícolas. Esse conjunto de práticas e tecnologias tem como principal objetivo mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas na produção de alimentos, ao mesmo tempo em que contribui para a segurança alimentar global e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Smith et al., 2022).

Entre as inovações tecnológicas que suportam a Agricultura Climaticamente Inteligente, Smith et al. (2022) destaca a Internet das Coisas (IoT), que desempenha um papel essencial na coleta e monitoramento de dados agrícolas. Por meio de dispositivos conectados, a IoT oferece informações em tempo real sobre fatores como temperatura, umidade, qualidade do solo e crescimento das culturas. Essa conectividade permite, conforme os autores, que os agricultores tomem decisões baseadas em dados, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência do uso de recursos naturais.

O estudo de Smith et al. (2022) foca na integração da IoT com o Blockchain para promover uma agricultura mais inteligente e sustentável. O Blockchain oferece uma solução robusta para garantir a segurança e a transparência dos dados gerados por esses sensores, uma vez que oferece soluções para rastreabilidade, permitindo que agricultores, distribuidores e consumidores acompanhem o ciclo completo de produção e distribuição de alimentos. Smith et al. (2022) destacam que, embora as vantagens dessas tecnologias sejam claras, há desafios significativos relacionados à interoperabilidade entre os sistemas utilizados. A falta de um padrão global para a integração dessas tecnologias representa uma barreira importante, pois diferentes plataformas e dispositivos podem não ser compatíveis entre si. Além disso, o estudo aponta a necessidade de infraestrutura robusta para suportar a coleta e o processamento de grandes volumes de dados, o que pode ser um obstáculo para regiões com recursos limitados. No entanto, os autores concluem que, quando implementadas de maneira eficaz, essas tecnologias podem melhorar consideravelmente a eficiência na gestão de recursos e a sustentabilidade da produção agrícola.

Por outro lado, López et al. (2023) propõem uma estratégia de fusão de dados multi-dimensionais para o contexto da agricultura climática inteligente. Esse estudo enfatiza a importância de integrar dados climáticos com informações sobre a produtividade das culturas e as práticas de manejo agrícola. Segundo os autores, a fusão de dados permite a criação de modelos preditivos mais precisos, capazes de prever os impactos das condições climáticas nas safras. No entanto, López et al. (2023) reconhecem



que um dos maiores desafios dessa abordagem é a validação local dos modelos. Eles observam que, enquanto a fusão de dados pode melhorar a previsão de fenômenos climáticos e agrícolas, muitos modelos preditivos carecem de validação em diferentes contextos locais, o que limita sua aplicação em larga escala. Além disso, a infraestrutura tecnológica necessária para coletar e integrar dados de diferentes fontes pode ser um obstáculo em regiões mais remotas, onde a conectividade e os recursos tecnológicos são limitados. Para os autores, a solução para essas lacunas seria o desenvolvimento de modelos que considerem as especificidades locais, o que exigiria mais investimentos em pesquisa e adaptação das tecnologias existentes.

Já Gryshova et al. (2024) discutem o papel da IA na agricultura climática inteligente, com ênfase na aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para otimizar práticas agrícolas. O estudo mostra que a IA pode ser usada para melhorar a previsão do tempo, otimizar o uso de recursos como água e fertilizantes, e até mesmo para detectar doenças nas plantas de maneira precoce. Gryshova et al. (2024) argumentam que a IA tem o potencial de transformar a maneira como os agricultores gerenciam suas terras, tornando os processos mais eficientes e sustentáveis. No entanto, os autores também destacam que o custo das tecnologias de IA pode ser proibitivo para pequenos agricultores, que muitas vezes não possuem os recursos financeiros para investir em soluções tão avançadas. Outro desafio apontado pelo estudo é a falta de formação adequada para os agricultores, que, mesmo com acesso às tecnologias, podem não ter o conhecimento necessário para utilizá-las de forma eficaz. Para superar esses obstáculos, Gryshova et al. (2024) sugerem a implementação de programas de capacitação e parcerias público-privadas que possam reduzir os custos e aumentar a acessibilidade das tecnologias de IA.

A comparação entre esses três estudos revela que, embora cada um explore uma tecnologia específica, existem desafios comuns que permeiam todas as abordagens. A interoperabilidade entre sistemas, a necessidade de validação local de modelos, e a capacitação dos agricultores são questões que surgem repetidamente, indicando que a implementação bem-sucedida dessas tecnologias exigirá soluções integradas e colaborativas. Além disso, a acessibilidade das tecnologias, especialmente para pequenos agricultores, é um tema central em todos os estudos. A adoção dessas inovações depende não apenas da disponibilidade de recursos, mas também do suporte institucional e de políticas públicas que promovam a inclusão digital no setor agrícola.

As principais contribuições e desafios identificados nos estudos analisados revelam que a síntese das

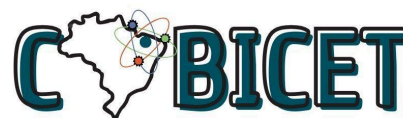
evidências levantadas demonstra abordagens tecnológicas distintas com desafios sobrepostos. No estudo de Smith et al. (2022), a aplicação de IoT e Blockchain foca na integração de dados climáticos e de produtividade, enfrentando barreiras severas na interoperabilidade de sistemas e na carência de uma padronização global. Complementarmente, López et al. (2023) propõem uma estratégia de fusão de dados multidimensionais para otimizar modelos preditivos, identificando que a eficácia dessas soluções é limitada pela infraestrutura restrita em certas regiões e pela necessidade latente de validação local dos algoritmos. Por fim, a pesquisa de Gryshova et al. (2024) destaca o potencial da Inteligência Artificial (IA) na mitigação de impactos climáticos, porém ressalta que o alto custo das ferramentas e a falha na formação técnica dos agricultores impedem a democratização dessa inovação no campo.

Portanto, embora as tecnologias discutidas nesses estudos apresentem um grande potencial para melhorar a sustentabilidade e a resiliência da agricultura, a superação dos desafios identificados será crucial para que essas inovações possam ser implementadas de maneira eficaz. As soluções devem ser adaptadas às realidades locais, considerando as limitações de infraestrutura e recursos dos agricultores, especialmente os pequenos, que enfrentam barreiras significativas para acessar essas tecnologias. A colaboração entre diferentes setores e a criação de políticas públicas de incentivo à inovação serão fundamentais para que a agricultura climática inteligente possa atingir seu pleno potencial.

Lacunas Identificadas

A análise das tecnologias emergentes para uma agricultura climaticamente inteligente revelou várias lacunas que precisam ser superadas para garantir sua implementação efetiva. As principais lacunas identificadas nos estudos referenciam questões como a falta de validação local dos modelos preditivos, a baixa acessibilidade das tecnologias para pequenos agricultores e os desafios de interoperabilidade entre dados heterogêneos. Estes aspectos foram destacados por diversos autores como obstáculos cruciais para o avanço das tecnologias na agricultura.

A validação local de modelos preditivos é uma lacuna significativa que impede a adoção plena de tecnologias como IoT e IA no campo. Muitos dos modelos propostos nos estudos analisados não consideram as especificidades de cada região, o que limita sua aplicabilidade e precisão. Smith et al. (2022) ressaltam que a falta de validação local impede que as soluções sejam efetivas em diferentes contextos climáticos e agrícolas, comprometendo a tomada de decisões baseadas em dados (Smith et al, 2022).



Outro desafio identificado refere-se à baixa acessibilidade das tecnologias para pequenos agricultores. A implementação de tecnologias de ponta, como a integração de IoT e blockchain, requer investimentos substanciais, o que torna essas soluções inacessíveis para grande parte dos agricultores de pequeno porte. López et al. (2023) discutem que a exclusão digital e econômica dos pequenos produtores é uma barreira significativa para a disseminação de inovações no setor agrícola (López et al., 2023). Isso dificulta a inclusão de todos os stakeholders na transformação do setor, comprometendo a equidade nas práticas agrícolas sustentáveis.

A interoperabilidade entre dados heterogêneos é um desafio técnico que compromete a integração de diferentes fontes de dados, essenciais para a agricultura inteligente. A dificuldade em unir dados de diversas fontes, como sensores de campo, satélites e registros históricos, ainda representa um obstáculo para a construção de sistemas robustos de monitoramento e previsão. Gryshova et al. (2024) apontam que a falta de padrões comuns para o compartilhamento de dados impede a integração eficiente das tecnologias emergentes e dificulta a criação de plataformas colaborativas no setor agrícola (Gryshova et al., 2024).

Propostas para Agricultura Climaticamente Inteligente

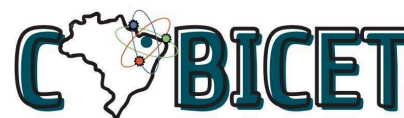
Uma das principais barreiras mencionadas na literatura é a falta de validação local dos modelos preditivos utilizados em diferentes contextos agrícolas. Para superar esse desafio, é fundamental que as tecnologias sejam testadas em condições reais de cultivo, considerando as particularidades de cada região. Isso pode ser alcançado por meio do estabelecimento de parcerias entre pesquisadores, universidades e agricultores locais. Essas parcerias permitiriam a realização de experimentos controlados que validem as soluções tecnológicas em cenários específicos. A adaptação dos modelos preditivos às realidades locais garantirá maior precisão e confiabilidade, permitindo que os agricultores tomem decisões mais informadas, considerando as condições climáticas e culturais da sua região. Segundo Smith et al. (2022), a validação local de modelos é crucial para garantir que as soluções tecnológicas funcionem de maneira eficaz e eficiente em diferentes contextos agrícolas.

A acessibilidade das tecnologias para pequenos agricultores é outro desafio importante que precisa ser abordado para garantir a inclusão digital no setor agrícola. A adoção de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e blockchain, pode ser financeiramente inviável para os pequenos produtores devido ao alto custo das ferramentas e à

falta de infraestrutura. Uma proposta para superar essa barreira é a criação de programas de subsídios e políticas públicas que incentivem a aquisição dessas tecnologias por pequenos agricultores. Esses programas podem incluir financiamentos acessíveis e isenções fiscais para a compra de sensores IoT, drones e outras ferramentas tecnológicas. Além disso, é necessário o desenvolvimento de programas de capacitação e treinamento para que os agricultores adquiram as habilidades necessárias para utilizar essas tecnologias de forma eficaz. A capacitação ajudará a reduzir as barreiras ao uso de tecnologias digitais, tornando-as mais acessíveis e viáveis para os pequenos agricultores. De acordo com Gryshova et al. (2024), capacitar os agricultores é fundamental para maximizar os benefícios das tecnologias emergentes e aumentar a eficiência das operações agrícolas.

A integração de dados heterogêneos de diversas fontes, como sensores IoT, satélites e drones, ainda representa um desafio significativo na agricultura climática inteligente. Para que essas tecnologias se complementem e ofereçam soluções completas, é necessário desenvolver plataformas de gestão de dados que promovam a interoperabilidade entre sistemas diferentes. Essas plataformas devem ser baseadas em padrões internacionais de dados, como o WMO Core e o ISO 19115, que garantem a compatibilidade entre diferentes tipos de dados e sistemas. A criação de tais plataformas permitiria a análise integrada de informações climáticas, meteorológicas e agrícolas, facilitando a tomada de decisões mais informadas e eficazes. A interoperabilidade de dados também ajudaria a superar os desafios da fragmentação de informações e garantiria que todos os envolvidos na cadeia produtiva tivessem acesso às mesmas informações de qualidade. López et al. (2023) afirmam que a interoperabilidade de dados é um fator essencial para a melhoria da eficiência e da precisão na agricultura climática inteligente, permitindo que as diferentes tecnologias e sistemas trabalhem em conjunto.

Outra proposta relevante é o incentivo ao uso de tecnologias de código aberto, especialmente no que se refere a ferramentas de Inteligência Artificial (IA) e blockchain. Tecnologias de código aberto são mais acessíveis e oferecem maior flexibilidade para adaptação às necessidades específicas dos agricultores. Ao permitir que os usuários modifiquem e personalizem o software, as ferramentas de código aberto podem ser adaptadas às condições climáticas e agrícolas locais, proporcionando soluções mais eficazes e com menor custo. Além disso, o uso de tecnologias de código aberto pode reduzir as barreiras de entrada para pequenos agricultores, permitindo que eles aproveitem as inovações tecnológicas sem a necessidade de licenças caras ou



infraestrutura complexa. Gryshova et al. (2024) destacam que o uso de soluções de código aberto pode impulsionar a inovação no setor agrícola e permitir uma maior autonomia para os agricultores na implementação de tecnologias.

Essas propostas, alinhadas com as tecnologias emergentes discutidas, têm o potencial de transformar a agricultura, tornando-a mais sustentável e resiliente às mudanças climáticas. Ao adotar essas soluções, será possível enfrentar os desafios atuais e promover uma agricultura inteligente que beneficie todos os envolvidos, desde grandes produtores até pequenos agricultores.

CONCLUSÃO

As tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e blockchain, apresentam um potencial transformador para a agricultura climaticamente inteligente. Este trabalho destacou como essas inovações podem contribuir para enfrentar desafios como a variabilidade climática, a produtividade agrícola e a segurança alimentar global. A análise realizada evidenciou que a gestão eficiente de dados não convencionais é essencial para a implementação de soluções tecnológicas robustas e sustentáveis, especialmente em cenários agrícolas vulneráveis. No entanto, é crucial abordar as lacunas identificadas para garantir que tais tecnologias sejam plenamente aproveitadas.

Uma das principais contribuições deste estudo foi identificar a necessidade de validação local dos modelos preditivos desenvolvidos para a agricultura. Muitas soluções apresentadas na literatura carecem de testes adaptados às condições específicas das regiões agrícolas, limitando sua aplicabilidade prática. Além disso, foi destacada a importância de integrar pequenos agricultores ao processo de inovação tecnológica, uma vez que eles representam uma parcela significativa do setor agrícola global, mas enfrentam barreiras de acesso a tecnologias avançadas.

Outro aspecto significativo tratado foi o desafio da interoperabilidade de dados heterogêneos, um obstáculo que precisa ser superado para maximizar o impacto das ferramentas tecnológicas na agricultura. Este artigo propôs estratégias para superar essas dificuldades, como a criação de padrões universais para integração de dados e o incentivo a parcerias entre governos, instituições de pesquisa e empresas privadas. Essas medidas são essenciais para garantir que os benefícios das tecnologias emergentes sejam amplamente distribuídos.

Por fim, este trabalho contribui com a área em estudo ao oferecer uma análise abrangente das tecnologias emergentes para agricultura climaticamente inteligente, suas aplicações e desafios. Além disso, as

propostas apresentadas neste estudo visam estimular o desenvolvimento de soluções mais acessíveis e eficazes, promovendo a sustentabilidade e a resiliência do setor agrícola. Assim, espera-se que este trabalho sirva como uma base para futuros estudos e como um guia para profissionais e pesquisadores interessados em promover a inovação tecnológica na agricultura.

REFERÊNCIAS

- FAO. Climate-Smart Agriculture Sourcebook. Rome: FAO, 2013. Disponível em: <https://www.cac.int/sites/default/files/FAO.%2013.%20CSA%20Sourcebook.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2026.
- FAO et al. The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, FAO, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc3017en>. Acesso em: 30 abr. 2026.
- GRYSHOVA, I. et al. Artificial Intelligence in Climate-Smart Agriculture: Toward a Sustainable Farming Future. Access to Science, Business, Innovation in Digital Economy, v. 5, n. 1, p. 125-140, 2024.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- LÓPEZ, I. D. et al. A Proposal for a Multi-Domain Data Fusion Strategy in a Climate-Smart Agriculture Context. International Journal of Agricultural Data Science, v. 8, n. 1, p. 25-40, 2023.
- SMITH, A.; JOHNSON, B.; LEE, C. Integrating IoT and Blockchain in Climate-Smart Agriculture: Challenges and Opportunities. Journal of Agricultural Technology, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2022.