

**Tecnologias digitais e redução de custos na agricultura de pequenos produtores:
estratégias, impactos e limitações**

***Digital technologies and cost reduction in smallholder agriculture: strategies, impacts and
limitations***

Mateus da Mata Melo

Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais (MG), Brasil

Marcos de Oliveira Garcias

Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais (MG), Brasil

Fernanda Nunes Maciel

Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais (MG), Brasil

Athila Leandro de Oliveira

Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais (MG), Brasil

Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme

Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais (MG), Brasil

GT12. Impactos socioambientais das novas tecnologias no agronegócio

Resumo: Este estudo tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, como as tecnologias digitais são utilizadas como estratégias de redução de custos na produção de pequenos produtores, considerando seus impactos e suas limitações. Para isso, realizou-se uma revisão integrativa da literatura com busca nas bases Scopus e Web of Science. A amostra final consistiu em nove artigos científicos, publicados entre 2022 e 2026, analisados por meio da técnica de análise de conteúdo temática. Os resultados indicam que as estratégias de redução de custos se concentram em três eixos principais: (i) agricultura de precisão (drones, sensores e orientação automática), que otimiza o uso de insumos e reduz desperdícios; (ii) conectividade e acesso à informação (dispositivos móveis e e-commerce), que diminuem custos de transação e facilitam a aquisição de insumos; e (iii) sistemas de automação e gestão digital, que reduzem custos operacionais e aumentam a previsibilidade produtiva. Observou-se que o uso de tecnologias como a Indústria 4.0 pode elevar a produtividade e reduzir significativamente o consumo de recursos como energia, água e outros insumos. Entretanto, a adoção é condicionada por um triplo abismo digital: barreiras financeiras (como alto custo de capital e juros elevados), limitações de infraestrutura (como falta de conectividade rural e topografia irregular) e obstáculos socioeducacionais (como baixa alfabetização digital e desigualdades de gênero). Conclui-se que, embora as tecnologias digitais sejam fundamentais para a competitividade e sustentabilidade econômica dos pequenos produtores, sua efetividade depende de políticas voltadas à expansão da infraestrutura, ao desenvolvimento de hardware de baixo custo e à capacitação técnica no campo.

Palavras-chave: tecnologias digitais, pequenos produtores, redução de custos, agricultura digital, eficiência produtiva

Abstract: This study aims to analyze, through an integrative literature review, how digital technologies are used as cost-reduction strategies in smallholder production, considering their impacts and limitations. To this end, an integrative literature review was conducted using the Scopus and Web of Science databases. The final sample consisted of nine scientific articles published between 2022 and 2026, analyzed using thematic content analysis. The results indicate that cost-reduction strategies are concentrated in three main axes: (i) precision agriculture (drones, sensors, and automatic guidance), which optimizes input use and reduces waste; (ii) connectivity and access to information (mobile devices and e-commerce), which decrease transaction costs and facilitate input acquisition; and (iii) automation and digital management systems, which reduce operational costs and increase production predictability. It was observed that the use of technologies such as Industry 4.0 can increase productivity and significantly reduce the consumption of resources such as energy, water, and other inputs. However, adoption is constrained by a triple digital divide: financial barriers (such as high capital costs and interest rates), infrastructure limitations (such as lack of rural connectivity and irregular topography), and socio-

educational obstacles (such as low digital literacy and gender inequalities). It is concluded that, although digital technologies are essential for the competitiveness and economic sustainability of smallholders, their effectiveness depends on policies aimed at expanding infrastructure, developing low-cost hardware, and promoting technical training in rural areas.

Keywords: digital technologies, smallholders, cost reduction, digital agriculture, productive efficiency.

1. Introdução

A agricultura tem passado por transformações significativas nas últimas décadas, impulsionadas pelo avanço das tecnologias digitais e pela crescente demanda por eficiência produtiva e sustentabilidade. No contexto global, a digitalização do meio rural tem promovido mudanças estruturais nos sistemas produtivos, permitindo maior precisão no uso de insumos, monitoramento em tempo real e otimização de processos agrícolas (Bolfe *et al.*, 2020; Chandra; Collis, 2021; Pelekamoyo *et al.*, 2026).

Nesse cenário, conceitos como agricultura de precisão, agricultura digital e agricultura inteligente têm ganhado destaque como abordagens capazes de integrar tecnologias da informação, sensores, conectividade e análise de dados na produção agropecuária (Karunathilake *et al.*, 2023; Mgendi, 2024).

Apesar desses avanços, a realidade dos pequenos produtores apresenta especificidades que tornam a adoção dessas tecnologias um processo complexo. A agricultura familiar e de pequena escala desempenha papel fundamental na segurança alimentar e no desenvolvimento rural, especialmente em países em desenvolvimento (Azadi *et al.*, 2023; Lima; Bessa; Salomão, 2024). No entanto, esses produtores frequentemente enfrentam limitações estruturais, como restrições financeiras, acesso limitado à infraestrutura e menor disponibilidade de capital humano qualificado (Daribayeva *et al.* 2025, Finato; Sehnem; Bertoglio, 2026).

Nesse contexto, a incorporação de tecnologias digitais além de representar uma oportunidade de modernização, também indica um potencial mecanismo para aumentar a eficiência produtiva e reduzir custos de produção (Finato; Sehnem; Bertoglio, 2026; Šermukšnytė-Alešiūnienė; Melnikienė, 2024), além de permitir intervenções proativas no sistema de produção (Mccarthy *et al.*, 2023). Simultaneamente, a digitalização atua na redução direta de despesas e desperdícios, na eliminação de atravessadores e menores custos de transação (Chen *et al.*, 2022; Finato; Sehnem; Bertoglio, 2026). Dessa forma, a transição digital permite que os pequenos produtores superem a barreira histórica das margens estreitas, substituindo o manejo baseado na intuição por uma gestão ancorada em dados que assegura maior competitividade e sustentabilidade econômica a longo prazo.

A redução dos custos de produção constitui um dos principais desafios enfrentados por pequenos produtores, influenciando diretamente sua competitividade e sustentabilidade econômica (Réquia; Hollveg; Zonatto, 2023). Nesse sentido, as tecnologias digitais têm sido apontadas como ferramentas estratégicas para otimizar o uso de insumos, melhorar a tomada de decisão e ampliar o acesso a mercados e informações (Satpathy, 2022). Evidências recentes sugerem que soluções como sensores, drones, plataformas digitais e comércio eletrônico podem contribuir significativamente para ganhos de eficiência e redução de desperdícios (Chen *et al.*, 2022; Finato; Sehnem; Bertoglio, 2026; Guo *et al.*, 2025; Mccarthy *et al.*, 2023; Šermukšnytė-Alešiūnienė; Melnikienė, 2024).

Embora a literatura reconheça os benefícios potenciais das tecnologias digitais na agricultura, ainda há lacunas importantes no que se refere à sistematização das estratégias utilizadas especificamente por pequenos produtores para a redução de custos de produção. Além disso, os estudos existentes tendem a abordar de forma fragmentada os impactos dessas tecnologias, frequentemente considerando as limitações e barreiras que condicionam sua adoção e efetividade (Dibbern; Romani; Massruhá, 2024; Manning, 2024). Dessa forma, torna-se necessário integrar os achados disponíveis, a fim de compreender de maneira mais abrangente como essas tecnologias têm sido empregadas e quais fatores influenciam seus resultados.

Diante desse contexto, este estudo se justifica pela necessidade de consolidar o conhecimento existente sobre o uso de tecnologias digitais como estratégias de redução de custos na produção de pequenos produtores. Ao realizar uma revisão integrativa da literatura, o trabalho busca oferecer uma visão sistematizada das práticas adotadas, seus impactos na eficiência produtiva e econômica, bem como das principais barreiras à sua implementação. Espera-se, assim, contribuir tanto para o avanço teórico da área quanto para o entendimento de políticas e estratégias práticas necessárias para o fortalecimento da agricultura de pequena escala.

Nesse sentido, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: Quais estratégias baseadas em tecnologias digitais têm sido utilizadas para reduzir os custos de produção entre pequenos produtores, e quais são seus impactos e limitações?

Para responder a essa questão, o objetivo geral deste estudo é analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, como as tecnologias digitais são utilizadas como estratégias de redução de custos na produção de pequenos produtores, considerando seus impactos e suas limitações. Para atingir esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i)

identificar as principais estratégias de redução de custos associadas ao uso de tecnologias digitais na produção de pequenos produtores; (ii) analisar os impactos dessas tecnologias na eficiência produtiva e econômica; e (iii) examinar as barreiras e desafios que condicionam sua adoção e efetividade.

Além desta introdução, o presente artigo está organizado em mais cinco seções: a seção de procedimentos metodológicos do trabalho, que descreve os métodos adotados na pesquisa; a seção de resultados, na qual são apresentados os principais achados; a seção de discussões, dedicada à análise e interpretação dos resultados; a seção de conclusão, que sintetiza as principais contribuições do estudo; e, por fim, a seção de referências utilizadas.

2. Metodologia

Este trabalho seguiu a proposta metodológica de Torraco (2016) para a realização de uma revisão integrativa, permitindo reunir, avaliar e sintetizar resultados provenientes de múltiplos estudos. A partir das diretrizes do autor, a investigação foi operacionalizada em seis etapas sistemáticas: a elaboração do problema e objetivos de pesquisa, o estabelecimento dos critérios de busca dos artigos, a definição das informações a serem extraídas, a coleta em bases de dados, a avaliação técnica dos artigos e, por fim, a síntese interpretativa dos resultados obtidos.

O levantamento bibliográfico foi conduzido em duas das bases de dados multidisciplinares relevantes no meio acadêmico: Scopus e Web of Science. Para garantir uma busca abrangente e precisa, os termos de busca foram estruturados em três blocos temáticos centrais: (1) pequenos produtores, (2) custos de produção e (3) tecnologias digitais. A partir desses blocos, foi construída a seguinte *string* de busca, combinada por meio de operadores booleanos (AND e OR):

("smallholder farmer" OR "small-scale farmer*" OR "small farm*" OR "family farm*" OR "smallholder agriculture" OR "small-scale agriculture" OR "smallholder producer*") AND ("production cost*" OR "cost reduction" OR "cost efficiency" OR "economic efficiency" OR "cost management" OR "cost minimization" OR "farm profit*" OR "production efficiency") AND ("digital technolog*" OR "digital agriculture" OR "smart farming" OR "precision agriculture" OR ICT OR "information technolog*" OR "communication technolog*" OR "digital tool*" OR "farm management software" OR "agricultural app*" OR sensor* OR drone*)*.

Para garantir o alinhamento dos achados ao objetivo da pesquisa, foram estabelecidos alguns critérios de elegibilidade. Foram incluídos artigos científicos revisados por pares e publicados em sua versão final em periódicos, com recorte temporal compreendido entre os anos de 2020 e 2026. Os trabalhos precisavam focar em pequenos produtores ou agricultura familiar e apresentar considerações sobre custos de produção ou eficiência econômica. Inicialmente, todos os tipos de licenciamento foram considerados; contudo, devido a dificuldades técnicas na recuperação dos documentos oficiais na íntegra, optou-se por restringir a amostra apenas a publicações em acesso aberto (*open access*).

Em contrapartida, foram excluídos da análise estudos voltados a grandes propriedades agrícolas, artigos que não apresentavam análises econômicas ou de custos, e trabalhos de revisão de literatura, uma vez que o escopo desta pesquisa visou a análise empírica dos dados. Artigos duplicados entre as bases também foram removidos.

A busca inicial com a *string* definida retornou um total de 32 artigos, sendo 18 da base Scopus e 14 da Web of Science. Todos os registros foram exportados para a plataforma Rayyan, uma ferramenta assistida por Inteligência Artificial especializada na condução de revisões sistemáticas, que auxilia na triagem de artigos, identifica duplicatas e permite colaboração remota. A plataforma foi utilizada para a identificação e remoção de trabalhos duplicados, bem como para auxiliar os pesquisadores na etapa de triagem dos títulos e resumos, a fim de decidir pela manutenção ou exclusão inicial dos documentos.

Após a exclusão das duplicatas e a aplicação dos critérios na triagem inicial, restaram 19 artigos. Procedeu-se, então, a uma leitura flutuante e análise na íntegra desses documentos, o que refinou a seleção e resultou em uma amostra final composta por nove artigos aderentes à proposta do estudo. Esses artigos foram publicados entre 2022 e 2026.

Para a sistematização das informações, os dados dos artigos selecionados foram extraídos de forma padronizada. As variáveis coletadas incluíram: identificação do estudo (autor e ano), país de realização, tipo de produção agrícola analisada, estratégias de redução de custos identificadas, a presença e o impacto das tecnologias digitais e as barreiras à adoção de tecnologias.

A técnica adotada para o tratamento desses achados foi a análise de conteúdo temática. Esse procedimento permitiu o agrupamento das estratégias, ferramentas e barreiras em categorias analíticas, facilitando a interpretação dos dados e a estruturação da discussão dos resultados, que serão apresentados a seguir.

3. Resultados e discussão

3.1 Caracterização dos estudos

A amostra analisada nesta revisão é composta por nove artigos, cujas publicações se distribuem entre os anos de 2022 e 2026. O conjunto de estudos demonstra uma ampla abrangência global e engloba pesquisas conduzidas em diversos contextos geográficos, incluindo a América do Norte (Estados Unidos), Europa (contexto geral europeu e Lituânia), Ásia (China, Cazaquistão e Bangladesh), África (Malawi) e América do Sul (Brasil). Esses trabalhos investigam diferentes frentes da produção agrícola, contemplando desde o manejo de pastagens e o cultivo de grãos, arroz e hortaliças, até a avicultura e a produção geral de carnes. Nota-se, de modo transversal, uma forte presença de análises voltadas para pequenas propriedades rurais, agricultura familiar e de subsistência.

No âmbito das tecnologias aplicadas diretamente nas atividades de campo, a pesquisa de Ashworth *et al.* (2022) buscou quantificar os impactos ambientais associados ao uso de sistemas de orientação de tratores, como o piloto automático, no manejo de pastagens de grama-bermuda e festuca-alta voltadas para a alimentação de ruminantes no Arkansas, Estados Unidos. Em uma linha voltada ao monitoramento e captação de dados visuais, o estudo desenvolvido na Europa por Barjaktarovic, Santoni e Bruzzone (2024) focou em apresentar o projeto e a calibração de uma câmera multiespectral e térmica de baixo custo, visando facilitar a adoção da agricultura de precisão em pequenas propriedades. De maneira complementar, McCarthy *et al.* (2023) procuraram entender como pequenos agricultores de subsistência e comércio no Malawi, dedicados principalmente ao milho, tomate e banana, percebem a utilização de drones para aprimorar a eficiência agrícola, abordando também suas visões sobre privacidade e uso de dados abertos.

Outro grupo de publicações debruçou-se sobre os efeitos da conectividade, da digitalização e de dispositivos móveis nas dinâmicas rurais. O trabalho de Chen *et al.* (2022) buscou explorar de forma empírica como a adoção do comércio eletrônico afeta a eficiência técnica de pequenos produtores de trigo na China. Também no contexto chinês, focado na produção agrícola de grãos em pequenas propriedades, Guo *et al.* (2025) investigaram as repercussões do acesso à internet nas decisões familiares de transferência de terras, propondo um modelo teórico para explicar tais escolhas. Em Bangladesh, a análise empírica conduzida por Kandulu *et al.* (2025) procurou avaliar o impacto da posse de telefones celulares no rendimento e no lucro de pequenos cultivadores de arroz, vegetais e juta, com atenção especial aos domicílios chefiados por mulheres. Já na Lituânia, a investigação de Šermukšnytė-

Alešiūnienė e Melnikienė (2024) tentou compreender os elos entre a digitalização e o desenvolvimento sustentável em uma pequena fazenda comercial orgânica e biodinâmica focada na cadeia do campo à mesa, delineando critérios econômicos, sociais e ambientais.

Os impactos de tecnologias avançadas e as dinâmicas de mercado focadas na produção animal também compuseram o escopo da amostra. Com o intuito de analisar o mercado de carnes no Cazaquistão, abrangendo as produções bovina, suína, ovina e de aves, a pesquisa de Daribayeva *et al.* (2025) buscou mapear as tendências de desenvolvimento do setor, o consumo, as exportações e os fatores que limitam sua eficiência. Em paralelo, no contexto da região Sul do Brasil (Santa Catarina), o estudo de Finato, Sehnem e Bertoglio (2026) procurou investigar os desdobramentos das tecnologias da Indústria 4.0 na avicultura operada por agricultores familiares sob o sistema de integração, avaliando suas consequências para o desempenho produtivo, a sustentabilidade e as dinâmicas socio-organizacionais, como o processo de sucessão familiar.

3.2 Estratégias de redução de custos

A análise dos estudos revela que a busca pela redução de custos e pelo incremento da eficiência econômica no meio rural está fortemente ancorada na adoção de soluções tecnológicas, produtivas e organizacionais. No ambiente prático de campo, a agricultura de precisão desponta como um vetor fundamental. O quadro 1 apresenta as principais estratégias identificadas e seus impactos na produção.

Quadro 1. Estratégias de redução de custos identificadas

Estratégia principal	Impacto direto	Estudo
Orientação automática de tratores (piloto automático)	Minimiza sobreposições e falhas na aplicação de herbicidas/fertilizantes, otimizando o uso de insumos.	Ashworth <i>et al.</i> (2022)
Câmeras multiespectrais e térmicas de baixo custo	Redução drástica do custo de capital para acesso à agricultura de precisão	Barjaktarovic <i>et al.</i> (2024)
Adoção de <i>e-commerce</i>	Redução nos custos de aquisição de insumos básicos (mudas, sementes e fertilizantes).	Chen <i>et al.</i> (2022)
Clusters verticalmente integrados e cooperativas	Redução nos custos de produção (clusters) e aumento na renda via uso de infraestrutura coletiva (cooperativas).	Daribayeva <i>et al.</i> (2025)
Automação e monitoramento microclimático contínuo	Redução nos custos operacionais (energia, água e trabalho manual).	Finato <i>et al.</i> (2026)
Transferência de terras agrícolas via internet	Alcance de economias de escala e redução de custos (aquisição de terras).	Guo <i>et al.</i> (2025)
Acesso à informação via telefonia móvel	Conexão a informações críticas de produção e mercado para melhorar a rentabilidade de agricultoras.	Kandulu <i>et al.</i> (2025)
Mapeamento por drones para ajuste de insumos	Economia operacional por meio do ajuste preciso de irrigação, fertilização e controle de pragas.	McCarthy <i>et al.</i> (2023)

Gestão digital integrada (software)	Eliminação de produtos não rentáveis e redução de custos com mão de obra familiar.	Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė (2024)
-------------------------------------	--	---

Fonte: elaborado pelos autores com base nos artigos da amostra (2026)

A pesquisa de Ashworth *et al.* (2022), por exemplo, demonstra que a utilização de sistemas de orientação automática de tratores minimiza sobreposições e falhas na distribuição de herbicidas e fertilizantes, maximizando o aproveitamento dos insumos e alavancando a produção por hectare. Nessa mesma linha de otimização de insumos, o levantamento de McCarthy *et al.* (2023) aponta que o mapeamento por drones, por meio de imagens ortomosaicas e perfis de saúde vegetal, permite ajustes precisos nos cronogramas de irrigação, fertilização e controle de pragas, gerando economia operacional. Para contornar a barreira financeira dessas tecnologias, Barjaktarovic, Santoni e Bruzzzone (2024) propõem o desenvolvimento de câmeras multiespectrais e térmicas de baixo custo, construídas com componentes de prateleira, cujo design modular permite reduzir o custo de capital a uma fração das opções comerciais tradicionais.

No âmbito das instalações e da gestão interna das propriedades, a automação e a digitalização mostram impactos diretos nos custos fixos e variáveis. O trabalho de Finato, Sehnem e Bertoglio (2026) evidencia que o monitoramento microclimático contínuo, aliado à inteligência artificial, é capaz de reduzir o desperdício em sistemas avícolas, resultando em quedas significativas nos gastos operacionais, como a diminuição de 15% no consumo de energia e 10% no uso de água, além de poupar cerca de 1,5 horas diárias de trabalho manual. De maneira complementar, Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė (2024) ilustram como a gestão digital integrada via software otimiza o planejamento e a contabilidade em pequenas fazendas. Essa ferramenta viabiliza uma política de zero desperdício ao reprogramar produtos frescos não comercializados para novas receitas, ao mesmo tempo em que identifica e elimina itens não rentáveis, reduzindo drasticamente os custos com a mão de obra familiar.

A conectividade e o acesso à informação representam outro pilar estratégico para a mitigação de despesas e o aumento da rentabilidade. A inserção de produtores no comércio eletrônico, conforme explorado por Chen *et al.* (2022), provou ser uma tática eficaz para baratear a aquisição de insumos básicos, como mudas, sementes e fertilizantes, contribuindo para o aumento do rendimento das safras. Em contextos de maior vulnerabilidade, Kandulu *et al.* (2025) destacam que o simples acesso a telefones celulares atua como uma ferramenta tecnológica crucial, conectando agricultoras a informações vitais sobre produção e mercado, o que melhora os resultados econômicos gerais da fazenda.

Por fim, arranjos organizacionais e estruturais também se mostram determinantes para a eficiência de custos. O trabalho de Daribayeva *et al.* (2025) sobre o mercado de carnes destaca que a formação de clusters verticalmente integrados, equipados com bases próprias de ração e alimentação automatizada, pode reduzir os custos de produção em até 25%. Paralelamente, o mesmo estudo aponta que cooperativas de pequenos produtores conseguem elevar a renda em cerca de 30% apenas pelo uso compartilhado de infraestrutura.

Outra dinâmica estrutural é abordada por Guo *et al.* (2025), que demonstram como a internet facilita a transferência de terras agrícolas: enquanto o arrendamento permite que famílias realoquem sua força de trabalho para setores mais rentáveis, a aquisição de novas áreas possibilita que os agricultores alcancem economias de escala e reduzam seus custos operacionais por meio da intensificação da mecanização.

3.3 Presença de tecnologias digitais e seus impactos

A totalidade dos artigos que compõem esta revisão relata a adoção ativa de tecnologias digitais, variando desde o uso de conectividade básica via dispositivos móveis até a implementação de sistemas complexos. O Quadro 2 apresenta as tecnologias utilizadas e seus impactos. Agrupando essas inovações, é possível observar seus impactos em três frentes principais: conectividade e comércio, monitoramento de precisão no campo, e automação e gestão inteligente.

Quadro 2. Presença de tecnologias digitais e seus impactos

Tecnologia presente	Principal impacto tecnológico	Estudo
Orientação automática de tratores	Redução de sobreposições/falhas e ganhos de 2,7% a 6,5% na produção.	Ashworth <i>et al.</i> (2022)
Câmeras multiespectrais/térmicas (<i>low-cost</i>) e drones.	Reconstruções com precisão muito alta, democratizando a detecção precoce de anomalias foliares.	Barjaktarovic <i>et al.</i> (2024)
Comércio eletrônico (<i>e-commerce</i>).	Aumento de 2,75% na eficiência técnica (produção de 18-20% a mais com a mesma quantidade de insumos).	Chen <i>et al.</i> (2022)
Sistemas IoT para monitoramento animal.	Previsão de aumento da rentabilidade entre 8% e 10% em fazendas de produção de carne.	Daribayeva <i>et al.</i> (2025)
Indústria 4.0 (Sensores IoT, IA, automação, Big Data).	Ganho de 7% em produtividade, previsão de peso com ~99% de precisão e estímulo à sucessão familiar.	Finato <i>et al.</i> (2026)
Internet e ferramentas digitais de gestão/informação.	Aumento da produtividade, redução de custos de transação e facilitação de contratos de transferência de terras.	Guo <i>et al.</i> (2025)
Telefones celulares e <i>smartphones</i> .	Aumento de até 8,3% no rendimento e 32,3% no lucro para famílias chefiadas por mulheres.	Kandulu <i>et al.</i> (2025)
Drones (VANTs), mapas HD e algoritmos de saúde vegetal.	Identificação de problemas invisíveis a olho nu, com 100% dos usuários relatando melhora nas decisões de manejo.	McCarthy <i>et al.</i> (2023)
Gestão rural inteligente (IoT, sensores, imagens).	Aumento de receitas via dados preditivos e corte radical no tempo gasto com burocracia contábil.	Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė (2024)

Fonte: elaborado pelos autores com base nos artigos da amostra (2026)

No que tange à *conectividade e comunicação*, o simples acesso a redes e dispositivos móveis demonstra um potencial transformador. A pesquisa empírica de Kandulu *et al.* (2025) aponta que a posse de telefones celulares por famílias agrícolas chefiadas por mulheres em Bangladesh resultou em um aumento de 4,1% a 8,3% no rendimento das safras e um salto expressivo de até 32,3% no lucro da fazenda. De forma semelhante, o acesso à internet tem reduzido a assimetria de informações e os custos de transação na China, facilitando a transferência de terras e otimizando a capacidade de organização da produção (Guo *et al.*, 2025). Além disso, a inserção no comércio eletrônico (*e-commerce*) permitiu que pequenos produtores de trigo elevassem sua eficiência técnica em 2,75%, podendo chegar a produzir de 18% a 20% a mais com a mesma quantidade de insumos, caso atingissem a eficiência técnica máxima (Chen *et al.*, 2022).

Na frente de *monitoramento de precisão e operações de campo*, as tecnologias de geolocalização e imageamento aéreo proporcionam a otimização milimétrica dos recursos físicos. Ashworth *et al.* (2022) observaram que o uso de sistemas de navegação por satélite e esterçamento automático de tratores reduziu significativamente as sobreposições e falhas nas aplicações de insumos, gerando ganhos de produção de forragem de até 6,5%. No entanto, os autores ressaltam um paradoxo: o consumo absoluto de combustível da máquina aumentou para cobrir os espaços de forma mais uniforme, exigindo um ganho de produtividade de pelo menos 5% para que a tecnologia alcance o ponto de equilíbrio financeiro. Em paralelo, a captação de dados aéreos por drones (VANTs), aliada a algoritmos de saúde vegetal, permitiu aos agricultores no Malawi identificar problemas invisíveis a olho nu, como estresse hídrico e erosão, impactando positivamente as decisões de manejo e os rendimentos (McCarthy *et al.*, 2023). A acessibilidade a esse tipo de monitoramento foi enfatizada por Barjaktarovic *et al.* (2024), que comprovaram a eficácia de câmeras multiespectrais e térmicas de baixo custo, alcançando alta precisão de resposta na detecção precoce de anomalias foliares para pequenos produtores.

Em relação à *automação e a gestão inteligente baseada em dados* (IoT, Inteligência Artificial e Big Data), tecnologias digitais têm promovido saltos de previsibilidade nas cadeias produtivas e animais. Na avicultura brasileira, o uso intensivo de tecnologias da Indústria 4.0 resultou em um ganho de produtividade de 7%, redução da mortalidade e uma precisão de aproximadamente 99% na previsão de peso das aves. Outro achado importante foi o impacto social: a digitalização atraiu os jovens e motivou a sucessão familiar nas propriedades (Finato

et al., 2026). No setor de carnes do Cazaquistão, a implementação de sistemas IoT para monitoramento animal projeta um aumento de rentabilidade entre 8% e 10% (Daribayeva *et al.*, 2025). Essa consolidação de dados também revoluciona a rotina gerencial: sistemas rurais inteligentes com observação climática e reconhecimento de imagens têm reduzido ativamente as perdas nas safras e cortado de forma radical o tempo gasto com burocracia/contabilidade, liberando a mão de obra familiar para atividades mais rentáveis (Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė, 2024).

3.4 Barreiras e desafios à adoção de tecnologias

Embora as inovações digitais ofereçam ganhos expressivos de produtividade e eficiência, a literatura analisada evidencia que a adoção dessas ferramentas esbarra em obstáculos complexos e multifacetados. O quadro 3 apresenta um resumo das barreiras identificadas nos estudos.

Quando 3. Barreiras e desafios à adoção de tecnologias

Principais barreiras e desafios	Classificação	Estudo
Alto capital de investimento inicial; topografia irregular que afeta o piloto automático.	Financeira e física/topográfica	Ashworth <i>et al.</i> (2022)
Falhas de alinhamento óptico exigindo processamento extra; alto custo de equipamentos para calibração.	Técnica/desenvolvimento	Barjaktarovic <i>et al.</i> (2024)
Baixa escolaridade; dependência crítica de internet rápida; desigualdade de gênero na adoção.	Infraestrutura, educacional e sociocultural	Chen <i>et al.</i> (2022)
Juros altos; falta de garantias; burocracia complexa; conectividade de internet limitada nas fazendas.	Financeira, institucional e infraestrutura	Daribayeva <i>et al.</i> (2025)
Custo de implantação elevado; propriedades sem cobertura de rede; assimetria de poder (governança de dados).	Financeira, infraestrutura e governança	Finato <i>et al.</i> (2026)
Topografia acidentada bloqueando sinal; fragmentação de lotes; falta de habilidades digitais operacionais.	Física/topográfica e educacional	Guo <i>et al.</i> (2025)
Barreiras culturais e de gênero; analfabetismo digital; baixa penetração de <i>smartphones</i> .	Sociocultural, educacional e técnica	Kandulu <i>et al.</i> (2025)
Custo elevado de drones; baixa alfabetização gerando desconfiança; preocupações com privacidade de dados.	Financeira, educacional e governança	McCarthy <i>et al.</i> (2023)
Baixa capacitação digital; falta de fundos; resistência motivacional inicial.	Educacional e financeira	Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė (2024)

Fonte: elaborado pelos autores com base nos artigos da amostra (2026)

Uma das barreiras mais frequentes entre os estudos é a restrição financeira associada ao alto custo de capital inicial. O investimento exigido para adquirir equipamentos como drones, apontado como o principal entrave por pequenos agricultores no Malawi (McCarthy *et al.*, 2023), ou para implementar sistemas de automação que chegam a ultrapassar R\$ 70.000,00 na

avicultura brasileira (Finato *et al.*, 2026), exclui produtores descapitalizados. Esse cenário de subfinanciamento é agravado por condições macroeconômicas desfavoráveis; no Cazaquistão, por exemplo, Daribayeva *et al.* (2025) relatam que as altas taxas de juros, a falta de garantias e a burocracia complexa para acessar subsídios estatais sufocam a capacidade de modernização das pequenas fazendas. Outros estudos também convergem para a dificuldade de custeio inicial, exigindo o cálculo de preços de equilíbrio rigorosos com base no tamanho da propriedade (Ashworth *et al.*, 2022) e a superação da falta de fundos e motivação (Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė, 2024).

Em segundo lugar, a infraestrutura física e de telecomunicações atua como um grande gargalo. A dependência crítica de redes de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), alertada por Chen *et al.* (2022), choca-se com a realidade do campo: Finato *et al.* (2026) destacam que cerca de 70% do território rural na região Sul do Brasil não possui cobertura de internet adequada, enquanto Daribayeva *et al.* (2025) apontam que apenas 20% das fazendas no Cazaquistão estão conectadas. Além da conectividade, limitações topográficas, como áreas montanhosas, declividades acidentadas e a própria irregularidade e fragmentação dos lotes, obstruem o sinal de internet, inviabilizam economias de escala e distorcem o funcionamento de maquinários autônomos (Ashworth *et al.*, 2022; Guo *et al.*, 2025).

No âmbito do capital humano, as limitações socioeducacionais impõem desafios diretos à usabilidade das inovações. A baixa escolaridade geral, o analfabetismo em TI e a falta de habilidades digitais geram desconfiança, confusão e inibem a adoção de tecnologias (McCarthy *et al.*, 2023; Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė, 2024). Autores como Guo *et al.* (2025) e Finato *et al.* (2026) ressaltam que a introdução de maquinário inteligente e sistemas baseados em dados demanda invariavelmente a implementação de programas direcionados de capacitação técnica. Vale notar, entretanto, que barreiras atitudinais, como a falta de motivação inicial, tendem a ser superadas rapidamente assim que o agricultor é convencido do benefício econômico real da tecnologia (Šermukšnytė-Alešiūnienė e Melnikienė, 2024).

Por fim, a literatura expõe profundas barreiras socioculturais e institucionais, com destaque para a desigualdade de gênero e a governança de dados. Os estudos realizados em Bangladesh e na China mostram um favorecimento desproporcional na adoção de tecnologias por homens chefes de família, enquanto as mulheres enfrentam restrições agravadas por normas culturais, estereótipos de gênero e status socioeconômico (Chen *et al.*, 2022; Kandulu *et al.*, 2025). Adicionado a isso, a gestão da informação gera atritos organizacionais: há forte relutância dos produtores em compartilhar dados por questões de privacidade (McCarthy *et al.*,

2023) e, em modelos de integração, a falta de interoperabilidade e governança de dados cria uma assimetria de poder, resultando em dependência tecnológica dos pequenos produtores em relação às grandes organizações (Finato *et al.*, 2026).

Considerações finais

A análise dos estudos revela que a transição para a agricultura inteligente não é mais uma perspectiva futura, mas uma realidade presente e em expansão. Destaca-se, de antemão, a importância das tecnologias digitais no meio rural: todos os cenários investigados, independentemente de estarem localizados em países desenvolvidos ou em nações em desenvolvimento, demonstram uma dependência crescente de ferramentas digitais para garantir a competitividade. A tecnologia deixou de ser apenas um maquinário físico e passou a ser fundamentalmente baseada em dados.

Observa-se que as estratégias mais comuns adotadas para a redução de custos e aumento de eficiência orbitam em torno de dois eixos principais: a otimização de insumos via agricultura de precisão (uso de drones, sensores e navegação guiada) e a conectividade mercadológica e informativa (uso de celulares e comércio eletrônico). O traço comum entre essas estratégias é a mudança de paradigma na produção: o foco deixa de ser o aumento do volume de insumos aplicados ou da força de trabalho, e passa a ser a alocação inteligente e milimétrica dos recursos existentes.

A literatura analisada demonstra que a digitalização eleva o produtor da condição de operador braçal para a de gestor estratégico. Sistemas integrados de gestão, Internet das Coisas e Inteligência Artificial permitem uma transição de um modelo reativo (tratar uma doença quando ela aparece) para um modelo preditivo (identificar anomalias foliares ou prever o peso e a saúde dos animais antes que perdas ocorram). Além disso, a gestão digitalizada combate gargalos administrativos históricos do pequeno produtor, reduzindo o tempo gasto com burocracia e contabilidade. Isso viabiliza modelos de negócio mais sustentáveis, como estratégias de eficiência produtiva, e libera a mão de obra familiar para atividades de maior valor agregado, além de tornar o campo mais atrativo para as novas gerações, mitigando o problema da sucessão rural.

Contudo, a discussão sobre essas potencialidades não pode ignorar a profunda exclusão que ainda caracteriza o campo, evidenciada pelas severas barreiras à adoção tecnológica. A adoção de tecnologias no campo enfrenta um triplo abismo digital que afeta principalmente pequenos produtores: primeiro, barreiras financeiras e estruturais, como o alto custo de

equipamentos e a falta de crédito acessível; segundo, limitações de infraestrutura, já que a ausência de internet adequada em áreas rurais inviabiliza o uso de soluções digitais; e, por fim, obstáculos socioeducacionais e institucionais, incluindo baixa alfabetização digital, resistência à inovação, desigualdades de gênero e a dependência tecnológica de grandes organizações, que concentram o controle dos dados.

No que se refere às limitações, destaca-se que a análise foi baseada em um número restrito de estudos, provenientes de duas bases de dados e concentrados em um recorte temporal recente, o que pode limitar a abrangência dos achados e sua generalização para outros contextos. Além disso, por se tratar de uma revisão integrativa, os resultados dependem da qualidade e da diversidade metodológica dos estudos analisados.

Diante disso, as implicações do estudo reforçam a necessidade de estratégias que promovam a inclusão digital no meio rural, combinando políticas de expansão da infraestrutura de conectividade, mecanismos de financiamento acessível e iniciativas de capacitação técnica voltadas às especificidades dos pequenos produtores. Para a agenda de pesquisa futura, recomenda-se o aprofundamento de investigações empíricas que mensurem os impactos econômicos das tecnologias digitais em diferentes sistemas produtivos, bem como estudos que explorem modelos de governança de dados e arranjos institucionais capazes de reduzir assimetrias e ampliar o acesso às inovações. Em última instância, o avanço da agricultura digital dependerá não apenas do desenvolvimento tecnológico, mas da capacidade de estruturar condições equitativas de acesso e uso dessas tecnologias.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio dos pesquisadores do Centro de Ciências para o Desenvolvimento em Agricultura Digital – Semear Digital. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Processos nº 2022/09319-9; 2025/10367-6; 2025/10368-2; 2025/06048-2.

Referências

ASHWORTH, A. J.; PUTMAN, W. B.; KHAREL, T.; THOMA, G.; SHEW, A.; POPP, M.; OWENS, P. Environmental impact assessment of tractor guidance systems based on pasture management scenarios. **Journal of the ASABE**, v. 65, n. 3, p. 645-653, 2022. DOI: 10.13031/ja.14930.

AZADI, Hossein *et al.* Contribution of small-scale farmers to global food security: a meta-analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 6, p. 2715-2726, 2023. DOI: 10.1002/jsfa.12207.

BARJAKTAROVIC, M.; SANTONI, M.; BRUZZONE, L. Design and verification of a low-cost multispectral camera for precision agriculture application. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 17, p. 6945-6957, 2024. DOI: 10.1109/JSTARS.2024.3377104.

BOLFE, E. L. BARBEDO, J. G. A. MASSRUHÁ, S. M. F. S. SOUZA, K. X. S. de ASSAD, E. D. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (Ed.). Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 16, p. 380-406. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126283>. Acesso em: 25 mar. 2026.

CHANDRA, R; COLLIS, S. Digital agriculture for small-scale producers: challenges and opportunities. **Communications of the ACM**, v. 64, n. 12, p. 75-84, 2021. DOI: 10.1145/3454008.

CHEN, D.; GUO, H.; ZHANG, Q.; JIN, S. E-commerce adoption and technical efficiency of wheat production in China. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1197, 2022. DOI: 10.3390/su14031197.

DARIBAYEVA, A.; ALINA, G.; NURGALIYEVA, A.; UKUBASSOVA, G.; TURSUMBAYEVA, M. Kazakhstan's meat market: Analysis of production, consumption, and export. 2025. DOI: 10.48077/scihor5.2025.90.

DIBBERN, T.; ROMANI, L. A. S.; MASSRUHÁ, S. M. F. S. Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture technologies. **Smart Agricultural Technology**, v. 8, p. 100459, 2024. DOI: 10.1016/j.atech.2024.100459.

FINATO, I. R.; SEHNEM, S.; BERTOGLIO, O. Digital transformation in poultry farming: impacts of industry 4.0 on rural performance and sustainability. **Research in Globalization**, p. 100336, 2026. DOI: 10.1016/j.resglo.2026.100336.

GUO, X.; LIU, X.; LV, J.; ZHU, R. Impact of digital technology on farmland transfer and food security: an empirical study in rural China. **Frontiers in Environmental Science**, v. 13, p. 1631305, 2025. DOI: 10.3389/fenvs.2025.1631305.

KANDULU, J. M.; WHEELER, S. A.; ZUO, A.; CONNOR, J. D. Mobile Technology and Gender: A Pathway to Increased Yield and Farm Profit for Smallholder Farmers in Bangladesh. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 69, n. 3, p. 674-686, 2025. DOI: 10.1111/1467-8489.70018.

KARUNATHILAKE, E. M. B. M.; LE, A. T.; HEO, S.; CHUNG, Y. S.; MANSOOR, S. The path to smart farming: Innovations and opportunities in precision agriculture. **Agriculture**, v. 13, n. 8, p. 1593, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13081593.

LIMA, J. P. F; BESSA, R. R; SALOMÃO, P. E. A. A importância da agricultura familiar para a segurança alimentar. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, n. 1, 2024. DOI: 10.61164/rmm.v9i1.2611.

MANNING, L. Innovating in an uncertain world: understanding the social, technical and systemic barriers to farmers adopting new technologies. **Challenges**, v. 15, n. 2, p. 32, 2024. DOI: 10.3390/challe15020032.

MCCARTHY, C.; NYONI, Y.; KACHAMBA, D. J.; BANDA, L. B.; MOYO, B.; CHISAMBI, C.; BANFILL, J.; HOSHINO, B. Can Drones Help Smallholder Farmers Improve Agriculture Efficiencies and Reduce Food Insecurity in Sub-Saharan Africa? Local Perceptions from Malawi. **Agriculture**, v. 13, p. 1075, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13051075.

MGENDI, G. Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming. **Discover Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 87, 2024. DOI: 0.1007/s44279-024-00078-3.

PELEKAMOYO, J.; NAKAONA, L.; KAMBONE, S.; MWITWA, J.; JERE, A.; NSAMA, L.; WALUBITA, N.; NKWETO, E. Smart IoT-driven precision agriculture: Enhancing macro and micro nutrition efficiency and sustainability in modern agriculture and greenhouses. **Science Progress**, v. 109, n. 1, p. 00368504261434108, 2026. DOI: 10.1177/00368504261434108.

RÉQUIA, R. C.; HOLLVEG, S. D. S.; ZONATTO, P. A. F. Desafios na gestão de custos e formação de preços em propriedades rurais: um estudo de caso na pecuária. **Revista Gestão em Foco**, v. 15, p. 166-193, 2023.

SATPATHY, B. Digital transformation for sustainable agriculture: a progressive method for smallholder farmers. **Current Science**, v. 123, n. 12, p. 1436-1440, 2022.

ŠERMUKŠNYTĖ-ALEŠIŪNIENĖ, K.; MELNIKIENĖ, R. The effects of digitalization on the sustainability of small farms. **Sustainability**, v. 16, n. 10, p. 4076, 2024. DOI: 10.3390/su16104076.

TORRACO, Richard J. Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. **Human resource development review**, v. 15, n. 4, p. 404-428, 2016.