

DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA AGRICULTURA DIGITAL NA PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E DA INCLUSÃO SOCIAL ENTRE OS PEQUENOS PRODUTORES NO BRASIL

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF DIGITAL AGRICULTURE IN PROMOTING SUSTAINABILITY AND SOCIAL INCLUSION AMONG SMALL-SCALE FARMERS IN BRAZIL

DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DE LA AGRICULTURA DIGITAL PARA PROMOVER LA SOSTENIBILIDAD Y LA INCLUSIÓN SOCIAL DE LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES EN BRASIL

 <https://doi.org/10.56238/arev7n12-028>

Data de submissão: 03/11/2025

Data de publicação: 03/12/2025

Geraldo Antônio da Cruz Neto

Mestrando em Direito do Agronegócio e Desenvolvimento

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: geraldocruz@unirv.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8102-1289>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3215741296289502>

Carolina Merida

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: merida@unirv.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5546-5660>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4407767690530183>

Murilo Couto Lacerda

Doutor

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: murilo.couto@unirv.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4484-0899>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9851155183694726>

Rejaine Silva Guimarães

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: rejaine@unirv.edu.br

Orcid: 0000- 0003-3264-4233

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2926559239072928>

Patrícia Spagnolo Parise Costa

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: parise@unirv.edu.br

Orcid: 0000-0002-2427-4933

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0855847967155495>

Línia Dayana Lopes Machado

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: liniadayana@yahoo.com.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4346-824X>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2642744874617998>

RESUMO

O artigo analisa como a agricultura digital ou agricultura inteligente pode, ao mesmo tempo, potencializar a sustentabilidade ambiental e promover inclusão social entre pequenos produtores rurais no Brasil. Discute-se que tecnologias como sensores, IoT, big data e computação em nuvem permitem otimizar o uso de insumos, reduzir desperdícios, monitorar clima e elevar a produtividade com menor impacto ambiental. Contudo, evidencia-se que esses benefícios são desigualmente distribuídos, em razão da baixa conectividade no meio rural, do alto custo de equipamentos e das assimetrias regionais de renda e infraestrutura. Os dados do Censo Agro 2017 mostram que mais de 70% dos estabelecimentos não tinham acesso à internet, o que limita o uso de aplicativos de gestão, plataformas de comercialização e assistência técnica remota. Soma-se a isso o baixo nível de escolaridade e de alfabetização digital da maioria dos produtores, o que dificulta a apropriação das tecnologias. O trabalho também examina a agenda da agricultura inteligente para o clima (CSA), apontando seu potencial para integrar produtividade, adaptação climática e mitigação de emissões, mas alertando para o risco de exclusão de pequenos produtores quando políticas e programas privilegiam grandes empreendimentos. Conclui-se que a agricultura digital só se tornará vetor efetivo de sustentabilidade e inclusão se articulada a políticas robustas de conectividade, formação, extensão rural e participação social, orientadas por justiça socioambiental.

Palavras-chave: Agricultura Digital. Inclusão Social. Sustentabilidade. Produtor Rural. Pequeno Produtor.

ABSTRACT

The article analyzes how digital agriculture, or smart agriculture, can simultaneously enhance environmental sustainability and promote social inclusion among small rural producers in Brazil. It argues that technologies such as sensors, IoT, big data and cloud computing make it possible to optimize input use, reduce waste, monitor climate conditions and increase productivity with lower environmental impact. However, it shows that these benefits are unevenly distributed due to low connectivity in rural areas, the high cost of equipment and regional asymmetries in income and infrastructure. Data from the 2017 Agricultural Census indicate that more than 70% of farms did not have internet access, which limits the use of management applications, marketing platforms and remote technical assistance. This scenario is compounded by low levels of schooling and digital literacy among most producers, which hinders the appropriation of these technologies. The article also examines the Climate-Smart Agriculture (CSA) agenda, highlighting its potential to integrate productivity, climate adaptation and emissions mitigation, while warning of the risk of excluding small producers when policies and programs privilege large enterprises. It concludes that digital agriculture

will only become an effective driver of sustainability and inclusion if it is articulated with robust policies for connectivity, training, rural extension and social participation, guided by socio-environmental justice.

Keywords: Digital Agriculture. Social Inclusion. Sustainability. Rural Producer. Small-Scale Farmer.

RESUMEN

Este artículo analiza cómo la agricultura digital, o agricultura inteligente, puede mejorar simultáneamente la sostenibilidad ambiental y promover la inclusión social entre los pequeños productores rurales de Brasil. Argumenta que tecnologías como sensores, IoT, big data y computación en la nube permiten optimizar el uso de insumos, reducir el desperdicio, monitorear el clima y aumentar la productividad con un menor impacto ambiental. Sin embargo, destaca que estos beneficios se distribuyen de manera desigual debido a la baja conectividad en las zonas rurales, el alto costo de los equipos y las disparidades regionales de ingresos e infraestructura. Los datos del Censo Agropecuario de 2017 muestran que más del 70% de las fincas carecían de acceso a internet, lo que limitaba el uso de aplicaciones de gestión, plataformas de comercialización y asistencia técnica remota. A esto se suma el bajo nivel de educación y alfabetización digital de la mayoría de los productores, lo que dificulta la adopción de estas tecnologías. Este trabajo también examina la agenda de la agricultura climáticamente inteligente (CSA), destacando su potencial para integrar la productividad, la adaptación climática y la mitigación de emisiones, pero advirtiendo sobre el riesgo de excluir a los pequeños productores cuando las políticas y los programas favorecen a las grandes empresas. Se concluye que la agricultura digital solo se convertirá en un vector eficaz de sostenibilidad e inclusión si se articula con políticas sólidas de conectividad, capacitación, extensión rural y participación social, guiadas por la justicia socioambiental.

Palabras clave: Agricultura Digital. Inclusión Social. Sostenibilidad. Productor Rural. Pequeño Productor.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação da produção de alimentos nas últimas décadas tem se apoiado crescentemente em inovações tecnológicas capazes de elevar a produtividade, reduzir perdas e mitigar impactos ambientais. Nesse cenário, a chamada agricultura digital ou agricultura 4.0 desponta como um conjunto de soluções baseadas em sensores, internet das coisas (IoT), sistemas de posicionamento global, análise de dados em nuvem e automação, que prometem transformar profundamente as formas de produzir, gerir e comercializar no campo. Além de ampliar a eficiência no uso de insumos e recursos naturais, tais tecnologias são frequentemente apresentadas como instrumentos capazes de contribuir para a sustentabilidade ambiental e para a segurança alimentar, em consonância com a agenda global de enfrentamento das mudanças climáticas e de promoção do desenvolvimento sustentável.

No entanto, a difusão dessas tecnologias não ocorre em um vazio social. O campo brasileiro é marcado por fortes assimetrias de poder, concentração fundiária, desigualdades de renda e grandes disparidades no acesso à infraestrutura digital, especialmente no que se refere à conectividade de qualidade, à disponibilidade de equipamentos e à qualificação técnica dos produtores. Pequenos agricultores, comunidades tradicionais e grupos historicamente vulnerabilizados correm o risco de permanecer ou até aprofundar sua condição de marginalização se as políticas de digitalização forem pensadas apenas a partir da lógica de grandes players do agronegócio. Assim, a agricultura digital pode tanto abrir novas oportunidades de inclusão social por meio do acesso a informações, mercados e serviços quanto reforçar a exclusão existente, caso as barreiras estruturais não sejam adequadamente enfrentadas.

Diante desse contexto, coloca-se a questão central que orienta este estudo: quais são os principais desafios e oportunidades da agricultura digital na promoção simultânea da sustentabilidade ambiental e da inclusão social no campo brasileiro, especialmente no que se refere à realidade dos pequenos produtores? Parte-se da hipótese de que as tecnologias digitais aplicadas à agricultura possuem efetivo potencial para otimizar o uso de recursos naturais, reduzir impactos ambientais e ampliar a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que podem favorecer a inclusão de pequenos produtores em cadeias produtivas e em políticas públicas. Todavia, esse potencial permanece limitado por obstáculos estruturais, como a precariedade da infraestrutura de conexão, a baixa alfabetização digital, a insuficiente oferta de assistência técnica e extensão rural e o desenho fragmentado das políticas de inovação que tendem a concentrar os benefícios da agricultura digital nos segmentos mais capitalizados do agronegócio.

À luz desse problema, o objetivo geral deste artigo é identificar e analisar os principais desafios e oportunidades da agricultura digital na promoção da sustentabilidade e da inclusão social no campo

brasileiro, com ênfase na situação de pequenos produtores com menor acesso à infraestrutura tecnológica. Especificamente, busca-se: (1) apresentar o conceito de agricultura digital e suas promessas em termos de eficiência produtiva e sustentabilidade; (2) discutir os entraves relacionados à infraestrutura digital, à qualificação profissional e às condições socioeconômicas no meio rural; e (3) examinar em que medida a agenda de agricultura inteligente para o clima pode ser apropriada como oportunidade de justiça socioambiental ou, ao contrário, reforçar assimetrias pré-existentes.

Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa de caráter qualitativo, baseada em revisão bibliográfica e documental sobre agricultura digital, sustentabilidade, inclusão social e políticas públicas voltadas ao meio rural. Foram selecionados estudos e documentos que abordam, de forma articulada, a dimensão tecnológica, ambiental e social da digitalização da agricultura no contexto brasileiro do pequeno produtor, permitindo construir um quadro analítico sobre os riscos e potencialidades dessa transformação. A partir desse referencial, o artigo procura contribuir para o debate jurídico e interdisciplinar em torno da necessidade de políticas de inovação que considerem, de maneira explícita, a redução das desigualdades e a garantia de direitos no campo, para que a agricultura digital não se restrinja a um vetor de competitividade, mas se converta efetivamente em instrumento de sustentabilidade e inclusão social.

2 CONCEITO DE AGRICULTURA INTELIGENTE OU 4.0

A agricultura digital, também denominada agricultura inteligente ou agricultura 4.0, visa estabelecer uma rede integrada de informações por meio do desenvolvimento de softwares e hardwares avançados. Os sistemas agrícolas tendem a ser transformados em serviços baseados na internet, hospedados em servidores em nuvem, capazes de articular diferentes fluxos de dados e apoiar a tomada de decisão no ambiente produtivo.

Esses sistemas possibilitam a comunicação interna entre máquinas agrícolas, o controle de equipamentos móveis, a interoperabilidade de dados, a integração com sistemas geoespaciais abertos e a oferta de serviços de armazenamento e processamento de informações agrícolas. Os dados são coletados por meio de sensores de Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), drones, informações meteorológicas, imagens de satélite, indicadores econômicos e outras bases on-line (Melgar, 2018).

A chamada Quarta Revolução Industrial é caracterizada pela convergência de tecnologias como Internet das Coisas, computação em nuvem, internet das pessoas, internet dos serviços, manufatura aditiva, big data, sistemas ciberfísicos, segurança digital, automação, inteligência artificial, simulação e modelagem (Sordi; Vaz, 2021). Esse movimento repercute diretamente no campo, ao incorporar essas

inovações aos sistemas de produção agrícola e redefinir a forma como se planeja, executa e monitora o uso do solo, dos insumos e da força de trabalho.

A agricultura inteligente, tal como hoje é compreendida, consolidou-se a partir de meados de 2010, com a evolução e a difusão de diversas tecnologias: redes de sensores, processamento de imagens de satélite, sistemas de tecnologia da informação baseados em nuvem, análise de big data, aplicativos móveis, máquinas e tratores autônomos, entre outros. Essas soluções passaram progressivamente a ser incorporadas aos maquinários e às rotinas produtivas nas propriedades rurais, permitindo um monitoramento mais preciso das atividades agrícolas e pecuárias (Melgar, 2018).

Nesse contexto, a agricultura inteligente integra tecnologias de informação e comunicação em máquinas, equipamentos e sensores empregados nos sistemas de produção agrícola. Tecnologias emergentes, como Internet das Coisas, big data e computação em nuvem, tendem a impulsionar esse avanço, introduzindo um maior número de robôs, algoritmos e sistemas de inteligência artificial na agricultura (Sordi; Vaz, 2021). Em tese, tais ferramentas podem contribuir para um uso mais racional de insumos, redução de desperdícios, aumento da produtividade e mitigação de impactos ambientais, compondo um importante vetor de sustentabilidade.

A transformação digital na agricultura, com a aplicação de tecnologias oriundas da Indústria 4.0, torna-se, assim, imprescindível para enfrentar desafios complexos, como produzir mais alimentos com menor utilização de recursos naturais e insumos. Abre-se um leque de oportunidades para otimizar o uso da água, fertilizantes e defensivos, melhorar a gestão de rebanhos e incrementar a eficiência de toda a cadeia produtiva, alcançando novos patamares de produtividade e sustentabilidade agrícola (Consoline, 2020).

No contexto brasileiro, Lopes e Contini (2012) ressaltam que a articulação entre agricultura, sustentabilidade e tecnologia exige reconhecer, simultaneamente, a centralidade econômica do setor e os limites ecológicos impostos pelos diferentes biomas. Os autores argumentam que a competitividade de longo prazo da agricultura brasileira depende de trajetórias tecnológicas capazes de elevar a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir a pressão sobre solo, água e biodiversidade, o que demanda políticas públicas e estratégias de inovação orientadas explicitamente por critérios de sustentabilidade.

Observa-se que a agricultura inteligente apresenta, entre suas principais vantagens: (1) aumento da quantidade de dados em tempo real sobre as culturas; (2) monitorização e controle remotos por parte dos agricultores; (3) controle mais eficiente da água e de outros recursos naturais; (4) aprimoramento da gestão do gado; (5) avaliação mais precisa do solo e das culturas; e (6) incremento da produção agrícola (Mohamed et al., 2021). Esses benefícios, se adequadamente apropriados, podem fortalecer tanto grandes empreendimentos agroindustriais quanto unidades produtivas de menor escala.

Dessa forma, constata-se que o processo de transformação digital nas propriedades rurais não é mais uma opção, mas um caminho praticamente inevitável para tornar a agricultura brasileira mais competitiva e com maior agregação de valor (Bolfé, 2020). Entretanto, para que essa transformação contribua efetivamente para a inclusão social no campo, é necessário que as tecnologias digitais não se limitem às grandes empresas do agronegócio, alcançando também os pequenos produtores rurais, frequentemente localizados em territórios com menor infraestrutura e maior vulnerabilidade socioeconômica.

Quando acessíveis e acompanhadas de políticas públicas de conectividade, capacitação técnica e assistência especializada, as soluções de agricultura digital podem auxiliar pequenos produtores a reduzir custos, planejar melhor o uso de insumos, acessar informações de mercado e ampliar sua inserção em cadeias produtivas mais complexas.

Em contrapartida, a ausência dessas condições tende a concentrar os benefícios da agricultura inteligente nos segmentos mais capitalizados, aprofundando desigualdades e limitando o potencial da agricultura digital como instrumento de sustentabilidade e inclusão social. É justamente essa tensão entre oportunidades e riscos que será explorada nas seções seguintes, ao se examinarem os desafios de infraestrutura digital, qualificação profissional e justiça socioambiental no contexto brasileiro.

3 DESAFIOS POR INFRAESTRUTURA DIGITAL E QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL

Para que a agricultura inteligente (smart farming) se materialize nas propriedades rurais, o processamento e a transmissão de dados em tempo real são aspectos cruciais. A eficácia das tecnologias descritas na seção anterior depende diretamente da disponibilidade de conectividade e de uma infraestrutura digital mínima, condição sem a qual os benefícios associados à sustentabilidade e à inclusão social permanecem apenas em potencial (Sordi; Vaz, 2021). No entanto, persistem desafios significativos no campo brasileiro, notadamente a baixa cobertura de rede móvel em áreas rurais, a oferta limitada de internet de alta qualidade e o custo de acesso para produtores de menor renda.

Os modelos de agricultura inteligente requerem um conjunto mínimo de dispositivos físicos para coletar, armazenar e transmitir dados, que vão desde smartphones, tablets, sensores e atuadores até computadores, servidores e maquinário georreferenciado. Essa carência estrutural é particularmente evidente nas pequenas propriedades rurais. Embora se observe redução gradativa de custos e maior difusão de tecnologias digitais, muitos agricultores não dispõem do hardware necessário para incorporar plenamente essas práticas, em razão de restrições econômicas e financeiras (Sordi; Vaz, 2021). Como resultado, os ganhos de eficiência e de uso racional de recursos naturais tendem a concentrar-se entre produtores mais capitalizados, reproduzindo desigualdades no acesso à inovação.

No contexto brasileiro, essa realidade é agravada pelos dados do Censo Agropecuário 2017¹, segundo o qual apenas 28% dos produtores declararam ter acesso à internet (1,43 milhão de produtores), sendo 659 mil via banda larga e 909 mil via internet móvel. Conseqüentemente, mais de 70% dos estabelecimentos rurais – cerca de 3,64 milhões de propriedades – não possuíam qualquer forma de conexão à época do levantamento (BRASIL, 2017).

Ao analisar os diferentes biomas brasileiros, Buainain et al. (2018) mostram que os desafios para uma agricultura sustentável não se restringem à adoção de novas tecnologias, mas envolvem profundas assimetrias regionais de renda, infraestrutura e acesso a políticas públicas. Os autores enfatizam que a transição para modelos produtivos mais sustentáveis exige reconhecer a heterogeneidade dos sistemas agrícolas, com atenção particular às condições dos pequenos produtores e agricultores familiares, que enfrentam restrições muito mais severas de crédito, assistência técnica e capacidade de investimento.

A ausência de conectividade limita o uso de aplicativos de gestão, plataformas de comercialização, sistemas de monitoramento climático e ferramentas de assistência técnica remota, restringindo justamente aqueles recursos que poderiam fortalecer a sustentabilidade produtiva e ampliar a inclusão social dos pequenos produtores nas cadeias agroindustriais.

A conectividade cumpre, assim, um papel estratégico na melhoria da assistência técnica, na oferta de educação à distância, no acesso a informações de mercado e na integração de máquinas e equipamentos agrícolas. Essas funções potencializam a redução de custos, o aumento da produtividade e a adoção de práticas de manejo mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Relatórios recentes indicam que a infraestrutura de conexão e a interoperabilidade de dados figuram entre os principais desafios para integrar a agricultura brasileira à era 4.0 (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2020), impactando de forma mais intensa os segmentos de menor escala produtiva (Bolfe, 2020).

Além das deficiências na infraestrutura digital, a qualificação profissional constitui outro obstáculo central para a disseminação da agricultura digital. A implementação de tecnologias associadas à agricultura inteligente exige a capacitação de produtores, colaboradores, consultores, extensionistas e técnicos para lidar com novos modelos de produção baseados em dados e na digitalização de processos. Muitas dessas soluções demandam habilidades técnicas avançadas para operar interfaces, interpretar indicadores e tomar decisões a partir de painéis de monitoramento, o que

¹ Utiliza-se dados do Censo Agropecuário 2017, último levantamento censitário rural realizado pelo IBGE, que permanece como a fonte mais abrangente e atual de informações estruturais sobre os estabelecimentos agropecuários brasileiros.

contrasta com os níveis de escolaridade e de alfabetização digital ainda predominantes no meio rural brasileiro (Sordi; Vaz, 2021).

De acordo com o Censo Agropecuário 2017, entre aproximadamente cinco milhões de produtores agropecuários, 15% declararam nunca ter frequentado a escola, 14% alcançaram apenas o nível de alfabetização e 43% frequentaram, no máximo, o ensino fundamental. Em síntese, 73% dos produtores possuem, no máximo, o ensino fundamental concluído ou incompleto, sendo que 1,1 milhão (23%) declararam não saber ler nem escrever (IBGE, 2017). Esses dados evidenciam que a baixa escolaridade e a exclusão educacional constituem barreiras significativas à adoção de tecnologias digitais, sobretudo entre pequenos produtores e agricultores familiares.

Para que os agricultores possam usufruir integralmente do potencial da agricultura inteligente, torna-se indispensável o fortalecimento de serviços de consultoria e extensão rural com enfoque em competências digitais. Consultores, técnicos e especialistas precisam também desenvolver novas habilidades, uma vez que passarão a atuar em ambientes de serviços digitalizados e orientados por dados, desempenhando papel mediador entre as soluções tecnológicas e as necessidades concretas das comunidades rurais. As interações entre agricultores e agentes de extensão tendem a ser crescentemente mediadas por plataformas remotas, o que reforça a importância de políticas de inclusão digital específicas para o campo (Sordi; Vaz, 2021).

Diante desse quadro, a superação dos déficits de infraestrutura digital e de qualificação profissional deve ser compreendida como condição para que a agricultura digital se converta, de fato, em vetor de sustentabilidade e inclusão social no agronegócio brasileiro. A ação articulada do poder público e da iniciativa privada, por meio de investimentos em conectividade rural, programas de formação continuada e políticas de crédito orientadas aos pequenos produtores, é fundamental para evitar que a digitalização aprofunde assimetrias históricas. Somente com esse conjunto de iniciativas será possível democratizar o acesso às tecnologias e garantir que os benefícios da agricultura inteligente alcancem também os segmentos mais vulneráveis do campo.

4 AGRICULTURA INTELIGENTE PARA O CLIMA

A agricultura inteligente para o clima (Climate-Smart Agriculture – CSA) surgiu como abordagem voltada a aumentar a produtividade e a segurança alimentar, criar resiliência às mudanças climáticas e reduzir as emissões de gases de efeito estufa no setor agrícola (Chandra; Shmelev, 2017). Trata-se de um conceito relativamente recente, sistematizado e difundido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) a partir de 2010, que busca articular, em uma mesma agenda, três objetivos centrais: (1) ampliar de forma sustentável a produção de alimentos; (2) fortalecer

a capacidade de adaptação de sistemas agrícolas e comunidades rurais; e (3) mitigar os impactos ambientais da atividade agropecuária (Chandra; Shmelev, 2017).

Essa abordagem tem se materializado por meio da formulação de políticas públicas, programas de financiamento e práticas de manejo que combinam inovações tecnológicas, mudanças organizacionais e instrumentos econômicos. Nesse contexto, as tecnologias de agricultura digital como sensores, sistemas de monitoramento climático, análise de dados em tempo real e plataformas de apoio à decisão e podem desempenhar papel estratégico ao possibilitar o uso mais eficiente de água, insumos e energia, bem como o acompanhamento de riscos climáticos em escala fina.

Assim, há uma interface direta entre a agenda de agricultura inteligente para o clima e as soluções de agricultura 4.0 discutidas nas seções anteriores, na medida em que ambas se apoiam em dados e conectividade para promover a sustentabilidade ambiental.

Contudo, a literatura crítica sobre o tema alerta para o risco de que a agricultura inteligente para o clima seja construída com foco excessivo em dimensões técnicas e produtivistas, subestimando os processos sociopolíticos que organizam o acesso à terra, à água, ao crédito e às tecnologias. Chandra e Shmelev (2017) destacam que, em diversos contextos, os programas de CSA tendem a marginalizar grupos vulneráveis, como pequenos agricultores e comunidades tradicionais, ao não incorporarem de forma adequada suas demandas, saberes e condições materiais. Frequentemente, os direitos à terra e à água, as relações de poder e as injustiças sociais são enquadrados de modo apolítico ou simplesmente ausentes dos objetivos oficiais de políticas de clima e agricultura, mesmo quando se afirma buscar o fortalecimento da segurança alimentar.

Essa crítica torna-se particularmente relevante quando se observa que muitas iniciativas de agricultura inteligente para o clima são financiadas ou influenciadas por organismos internacionais, grandes empresas e fundos de investimento, cujas prioridades nem sempre coincidem com as necessidades dos pequenos produtores. Políticas de crédito, empréstimos e subsídios, assim como instrumentos de mercado a exemplo de programas de redução de emissões e de certificação de carbono podem, se mal desenhados, favorecer predominantemente produtores de maior escala, deixando de fora agricultores familiares, povos indígenas e comunidades camponesas (Chandra e Shmelev, 2017). Em tais casos, a CSA corre o risco de reforçar assimetrias históricas, concentrando benefícios econômicos e tecnológicos em grupos já privilegiados e ampliando a exclusão social no campo.

Por outro lado, a própria agenda de agricultura inteligente para o clima oferece uma janela de oportunidade para reposicionar as preocupações de milhões de pequenos produtores – homens e mulheres – que vivem em áreas de alto risco climático e estão privados de justiça e igualdade. Em vez de reproduzir ciclos de marginalização, é possível conceber a CSA sob uma perspectiva baseada em

direitos, na qual o enfrentamento das mudanças climáticas seja articulado ao reconhecimento de direitos humanos, à democratização do acesso a tecnologias digitais e ao fortalecimento da participação social na formulação de políticas públicas (Chandra e Shmelev, 2017).

Nesse sentido, uma das alternativas consiste em desenvolver e difundir práticas de agricultura inteligente para o clima que incorporem tecnologias digitais como instrumentos de empoderamento e não apenas de controle, criando estruturas inclusivas que promovam a participação direta de pequenos produtores, organizações de base e movimentos sociais rurais. Isso implica, por exemplo, disponibilizar plataformas de monitoramento climático acessíveis em linguagens e interfaces compreensíveis, garantir conectividade em territórios vulneráveis, apoiar redes de cooperativas que utilizem dados para negociar melhores condições de comercialização e incluir agricultores familiares em programas de pagamento por serviços ambientais e de adaptação climática.

Em estudo de caso sobre a implementação da agricultura digital no agronegócio brasileiro, Manfredo Neto (2023) evidencia que a adoção de tecnologias associadas à agricultura 4.0 depende não apenas da disponibilidade de equipamentos e conectividade, mas também de arranjos de gestão, governança e capacitação das equipes envolvidas. O autor demonstra que os resultados esperados em termos de eficiência e sustentabilidade tendem a ser mais robustos quando a introdução de ferramentas digitais é planejada de forma integrada, considerando a realidade dos diferentes perfis de produtores, inclusive os de menor escala, e incorporando mecanismos de acompanhamento e avaliação contínua.

Dessa forma, as práticas agrícolas “inteligentes” e os investimentos científicos podem ser orientados para mudanças mais profundas, otimizando benefícios econômicos, sociais e ambientais, sem perder de vista a inclusão social como eixo estruturante. Articulada às discussões sobre infraestrutura digital e qualificação profissional apresentadas na seção anterior, a agricultura inteligente para o clima só se converterá em instrumento efetivo de justiça socioambiental se suas políticas e projetos forem desenhados de modo a reduzir desigualdades, garantir direitos e ampliar a voz dos pequenos produtores na governança do clima e do desenvolvimento rural.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo **identificar e analisar os principais desafios e oportunidades da agricultura digital na promoção da sustentabilidade e da inclusão social entre pequenos produtores no Brasil**, a partir de uma revisão bibliográfica e documental sobre agricultura 4.0, infraestrutura digital, qualificação profissional e agricultura inteligente para o clima.

Partiu-se da hipótese de que as tecnologias digitais possuem efetivo potencial para otimizar o uso de recursos naturais, reduzir impactos ambientais e ampliar a segurança alimentar, ao mesmo

tempo em que poderiam favorecer a inclusão de pequenos produtores em cadeias produtivas e políticas públicas, desde que acompanhadas de condições materiais e institucionais adequadas.

A análise das contribuições sobre **agricultura digital ou agricultura 4.0** evidenciou um amplo conjunto de **oportunidades** relacionadas ao uso de sensores, Internet das Coisas, computação em nuvem, big data e sistemas de apoio à decisão. Essas tecnologias permitem monitorar culturas, solos, rebanhos e condições climáticas em tempo real, contribuindo para o uso mais racional de insumos, a redução de desperdícios, o aumento da produtividade e a mitigação de impactos ambientais, configurando um importante vetor de **sustentabilidade**.

Entretanto, os resultados também demonstram que tais oportunidades não se distribuem de forma homogênea no campo brasileiro. A **baixa cobertura de internet**, a oferta limitada de serviços de banda larga e o alto custo de equipamentos digitais constituem barreiras relevantes, sobretudo para pequenos produtores e agricultores familiares. Mais de 70% dos estabelecimentos rurais não dispunham de qualquer forma de conexão à internet no Censo Agro 2017, o que restringe o uso de aplicativos de gestão, plataformas de comercialização, sistemas de monitoramento climático e ferramentas de assistência técnica remota.

A esse quadro somam-se os desafios de **qualificação profissional**. Os dados do Censo Agro indicam que a maioria dos produtores possui, no máximo, o ensino fundamental e uma parcela expressiva declara não saber ler nem escrever, o que evidencia a magnitude das barreiras educacionais para a adoção de tecnologias digitais baseadas em dados.

Assim, a agricultura inteligente tende a ser apropriada prioritariamente por segmentos mais capitalizados do agronegócio, reproduzindo desigualdades de acesso à inovação e limitando o potencial de **inclusão social** associado à digitalização.

No campo das políticas climáticas, a agenda de **agricultura inteligente para o clima** (Climate-Smart Agriculture – CSA) reforça tanto as promessas quanto as tensões da digitalização. De um lado, a CSA busca articular aumento de produtividade, adaptação às mudanças climáticas e redução de emissões, sendo apoiada por tecnologias digitais que viabilizam o monitoramento e a gestão mais eficiente dos sistemas produtivos. De outro, a literatura crítica alerta para o risco de que programas e instrumentos financeiros ligados à CSA favoreçam sobretudo grandes produtores, marginalizando pequenos agricultores, comunidades tradicionais e povos indígenas, quando não incorporam de forma adequada seus direitos, saberes e necessidades.

Diante desse conjunto de evidências, a **hipótese inicial é apenas parcialmente confirmada**. A agricultura digital e a agricultura inteligente para o clima, em si mesmas, não garantem sustentabilidade e inclusão social. Elas oferecem, de fato, um amplo leque de oportunidades, mas sua

concretização depende de **escolhas políticas** e do desenho de instituições que enfrentem, de maneira explícita, as desigualdades de infraestrutura, renda, escolaridade e acesso a direitos que marcam o campo brasileiro. Sem essas condições, a digitalização tende a aprofundar assimetrias históricas, concentrando benefícios em grupos já privilegiados e ampliando a exclusão de pequenos produtores.

Conclui-se, portanto, que a agricultura digital pode se converter em importante instrumento de **sustentabilidade ambiental e inclusão social**, desde que articulada a políticas públicas robustas de conectividade rural, programas de formação e alfabetização digital, fortalecimento da assistência técnica e extensão rural e mecanismos de participação dos pequenos produtores na formulação e na governança das agendas de inovação e clima. Somente a partir dessa perspectiva orientada por princípios de **justiça socioambiental** e de democratização do acesso às tecnologias será possível fazer com que a agricultura 4.0 transcenda a lógica estrita da competitividade e se torne um vetor efetivo de redução de desigualdades no meio rural.

Por fim, os resultados aqui sistematizados sugerem a necessidade de **novos estudos empíricos** sobre experiências concretas de adoção de tecnologias digitais por pequenos produtores, cooperativas e iniciativas de base comunitária, bem como de investigações jurídicas sobre regulação, proteção de dados e salvaguardas de direitos no contexto da agricultura digital. A continuidade desse debate, em perspectiva interdisciplinar, mostra-se fundamental para orientar políticas de inovação que estejam alinhadas a um projeto de desenvolvimento rural verdadeiramente sustentável, inclusivo e comprometido com os sujeitos do campo.

REFERÊNCIAS

BOLFE, Édson Luis. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. In: BOLFE, Édson Luis. Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília: Embrapa, 2020. p. 380-406. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126283>. Acesso em: 12 jun. 2025.

BRASIL. IBGE. Censo Agro 2017. 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

BUAINAIN, Antônio Márcio et al. Desafios para uma agricultura sustentável: abordagem baseada em nos biomas brasileiros. Desenvolvimento em Debate, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 71-97, jun. 2018. Semestral. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/dd/issue/view/1393>. Acesso em: 03 jul. 2025.

CHANDRA, Alvin; SHMELEV, Stanislav. The relevance of political ecology perspectives for smallholder Climate-Smart Agriculture: a review. Journal Of Political Ecology, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 1-22, 27 set. 2017. University of Arizona. <http://dx.doi.org/10.2458/v24i1.20969>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323102102_The_relevance_of_political_ecology_perspectives_for_smallholder_Climate-Smart_Agriculture_a_review. Acesso em: 04 jul. 2025.

CONSOLINE, Leticia. Desafios, Problemas e Oportunidades da Inovação na Agricultura no Brasil. 2020. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Economia, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Resultado/Listar?guid=42a2867a65eca1d26033>. Acesso em: 02 jul. 2025.

LOPES, Maurício Antônio; CONTINI, Elisio. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. Agroanalysis, Brasília, v. 32, p. 28-34, 15 fev. 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132991/1/Agricultura-Sustentabilidade-e-Tecnologia.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MANFREDO NETO, Leonardo. Perspectiva, implementação, gestão e tecnologias da agricultura digital: um estudo de caso aplicado ao agronegócio brasileiro. 2023. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18165?show=full>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MELGAR, Mário. Agricultura Digital ou Agricultura 4.0. Memoria Presentación de Resultados de Investigación 2017-2018, Guatemala, v. 16, n. 01, p. 12-18, set. 2018. Disponível em: <https://cengicana.org/publicaciones>. Acesso em: 03 jul. 2025.

MOHAMED, Elsayed Said; BELAL, Aa.; ABD-ELMABOD, Sameh Kotb; A EL-SHIRBENY, Mohammed; GAD, A.; ZAHRAN, Mohamed B. Smart farming for improving agricultural management. The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 971-981, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982321000582>. Acesso em: 01 jul. 2025.

SOLER-TOVAR, Diego. Conceptualización y necesidades de una agricultura climáticamente inteligente. *Revista de Medicina Veterinaria, Bogotá*, v. 17, n. 33, p. 07-11, jan. 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_issues&pid=0122-9354&lng=e&nrm=iso. Acesso em: 05 jul. 2025.

SORDI, Victor Fraile; VAZ, Sara Cristiane Machado. Os Principais Desafios para a Popularização de Práticas Inovadoras de Agricultura Inteligente. *Desenvolvimento em Questão, [S.L.]*, v. 19, n. 54, p. 204-217, 16 mar. 2021. Editora Unijui. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2021.54.204-217>. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/10891>. Acesso em: 01 jul. 2025.