

**O USO DA AGROCOMPUTAÇÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DO USO DE RECURSOS
HÍDRICOS NA AGRICULTURA FAMILIAR****THE USE OF AGROCOMPUTING TO OPTIMIZE THE USE OF WATER RESOURCES IN
FAMILY FARMING****EL USO DE LA AGROINFORMÁTICA PARA OPTIMIZAR EL USO DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA FAMILIAR**<https://doi.org/10.56238/ERR01v10n6-070>**Katiana Cristina Macedo Chagas**

Graduanda em Tecnologia em Agrocomputação

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Rondônia (IFRO) - *Campus* São Miguel do Guaporé-RO.E-mail: katianamacedo2@gmail.com**Gisele Renata de Castro**

Doutora em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: gisele.renata@ifro.edu.br**Tássio de Santana do Vale**

Especialista em Coordenação Pedagógica e Supervisão Escolar

Instituto: Faculdade Serra Geral (FSG)

E-mail: tassio.vale@ifro.edu.br**RESUMO**

A agrocomputação representa uma convergência entre tecnologias digitais e práticas agrícolas, se destaca como estratégia essencial para otimizar o uso de recursos hídricos na agricultura familiar. O estudo tem como objetivo sintetizar evidências recentes sobre o impacto de tecnologias digitais, como sensores, sistemas de apoio à decisão, Internet das Coisas e inteligência artificial, na eficiência e sustentabilidade do manejo hídrico. Para isso, foi realizada uma revisão integrativa de caráter qualitativo e exploratório, abrangendo publicações indexadas nas bases SciELO, Web of Science e Google Acadêmico, no período de 2015 a 2025. As buscas consideraram estudos revisados por pares, teses e relatórios técnicos que abordassem soluções digitais aplicadas à irrigação e à agricultura familiar. Os resultados mostraram que o uso de sensores e automação pode reduzir em até 30% o consumo de água, sem comprometer a produtividade das culturas, além de gerar ganhos energéticos superiores a 60% em alguns casos. Verificou-se também que a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina e de sistemas inteligentes de irrigação favorece maior precisão e controle hídrico, especialmente em propriedades de pequeno porte. Constatou-se, contudo, que desafios como o custo de implantação, a limitação de conectividade e a necessidade de capacitação técnica ainda restringem o uso mais amplo dessas tecnologias. Conclui-se que a agrocomputação contribui de forma decisiva para a sustentabilidade, a eficiência e o aumento da competitividade produtiva e econômica da agricultura familiar, promovendo maior inserção no mercado e otimização dos recursos disponíveis.

Palavras-chave: Irrigação Inteligente. Sustentabilidade Hídrica. Tecnologias Digitais.

ABSTRACT

Agrocomputing represents a convergence between digital technologies and agricultural practices, standing out as an essential strategy for optimizing the use of water resources in family farming. The study aims to synthesize recent evidence on the impact of digital technologies, such as sensors, decision support systems, the Internet of Things, and artificial intelligence, on the efficiency and sustainability of water management. To this end, an integrative qualitative and exploratory review was conducted, covering publications indexed in the SciELO, Web of Science, and Google Scholar databases from 2015 to 2025. The searches considered peer-reviewed studies, theses, and technical reports that addressed digital solutions applied to irrigation and family farming. The results showed that the use of sensors and automation can reduce water consumption by up to 30% without compromising crop productivity, in addition to generating energy gains of over 60% in some cases. It was also found that the application of machine learning algorithms and intelligent irrigation systems favors greater precision and water control, especially on small farms. However, it was found that challenges such as implementation costs, limited connectivity, and the need for technical training still restrict the wider use of these technologies. It was concluded that agrocomputing contributes decisively to the sustainability, efficiency, and increased productive and economic competitiveness of family farming, promoting greater market integration and optimization of available resources.

Keywords: Smart Irrigation. Water Sustainability. Digital Technologies.

RESUMEN

La agroinformática representa una convergencia entre las tecnologías digitales y las prácticas agrícolas, y se destaca como una estrategia esencial para optimizar el uso de los recursos hídricos en la agricultura familiar. El estudio tiene como objetivo sintetizar las pruebas recientes sobre el impacto de las tecnologías digitales, como los sensores, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones, el Internet de las cosas y la inteligencia artificial, en la eficiencia y la sostenibilidad de la gestión del agua. Para ello, se llevó a cabo una revisión integradora de carácter cualitativo y exploratorio, que abarcó publicaciones indexadas en las bases SciELO, Web of Science y Google Académico, en el período de 2015 a 2025. Las búsquedas consideraron estudios revisados por pares, tesis e informes técnicos que abordaban soluciones digitales aplicadas al riego y la agricultura familiar. Los resultados mostraron que el uso de sensores y la automatización pueden reducir hasta un 30 % el consumo de agua, sin comprometer la productividad de los cultivos, además de generar ganancias energéticas superiores al 60 % en algunos casos. También se verificó que la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático y de sistemas inteligentes de riego favorece una mayor precisión y control hídrico, especialmente en propiedades de pequeño tamaño. Sin embargo, se constató que desafíos como el costo de implementación, la limitación de la conectividad y la necesidad de capacitación técnica aún restringen el uso más amplio de estas tecnologías. Se concluye que la agroinformática contribuye de manera decisiva a la sostenibilidad, la eficiencia y el aumento de la competitividad productiva y económica de la agricultura familiar, promoviendo una mayor inserción en el mercado y la optimización de los recursos disponibles.

Palabras clave: Riego Inteligente. Sostenibilidad Hídrica. Tecnologías Digitales.

1 INTRODUÇÃO

A água é insumo estratégico para a produção de alimentos e para a manutenção dos sistemas agrícolas, especialmente na agricultura familiar brasileira, que enfrenta maior vulnerabilidade climática e restrições de infraestrutura. Nesse contexto, cresce a pressão por eficiência hídrica, entendida como a capacidade de aplicar apenas a lâmina necessária, no momento adequado e com a melhor distribuição possível, de modo a sustentar a produtividade, reduzir desperdícios e tornar a produção mais competitiva do ponto de vista econômico.

A evolução recente das tecnologias digitais no campo oferece novos meios para alcançar esse objetivo por meio do monitoramento contínuo do solo, da planta e do clima, do processamento de dados em nuvem e da automação de rotinas de irrigação, elementos que compõem a base da chamada agrocomputação. A literatura contemporânea indica que sensores de umidade, tensiometria, estações meteorológicas, telemetria, Internet das Coisas (IoT) e aprendizado de máquina podem transformar dados em recomendações operacionais mais precisas para o manejo da água, com impactos potenciais sobre eficiência, sustentabilidade e renda das famílias agricultoras (Silva *et al.*, 2020; Molin *et al.*, 2020).

A agricultura de precisão é reconhecida internacionalmente como uma estratégia gerencial baseada na variabilidade espaço-temporal, que orienta decisões para aumentar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas produtivos; esse marco conceitual tornou-se o alicerce para a agricultura digital e para a própria agrocomputação, que ampliam o escopo com plataformas de dados, IoT, robótica e inteligência artificial (Massruhá; Leite; Bolfe, 2023). No manejo da irrigação, isso se traduz em cadeias de valor de dados que conectam sensoramento em campo, modelos agrometeorológicos, cálculo de demanda hídrica e acionamento remoto de válvulas e bombas, aproximando a prática de uma gestão baseada em indicadores como evapotranspiração de referência e de cultura, eficiência de aplicação e produtividade da água (Silva *et al.*, 2020; Bambini *et al.*, 2015).

Apesar do avanço tecnológico, evidências nacionais mostram que a conectividade rural ainda é um fator limitante, com custos de implantação e operação significativos e cobertura desigual, o que afeta sobretudo pequenas propriedades e regiões periféricas. Estudos econômicos e setoriais apontam a conectividade como uma das principais barreiras à difusão de soluções digitais voltadas ao campo, sinalizando a necessidade de arranjos coletivos, financiamento adequado e políticas públicas orientadas à inclusão (Milanez *et al.*, 2020). De acordo com o levantamento realizado pela TIC Domicílios 2023 (2024), o uso de internet e dispositivos registram avanços importantes nos domicílios rurais, como a difusão do smartphone, mas confirmam diferenças regionais e urbano-rurais de acesso efetivo à essa tecnologia, o que influencia quanto às aplicações da agrocomputação necessárias ao manejo hídrico inteligente.

Diante desse quadro, busca-se elencar em que medida e sob quais condições, soluções de agrocomputação otimizam o uso de água em propriedades rurais familiares. Considera-se tanto o potencial técnico das tecnologias quanto os fatores de contexto que modulam seus resultados, como conectividade, capacitação, assistência técnica e viabilidade econômica. O objetivo geral deste artigo é sintetizar evidências recentes sobre tecnologias de agrocomputação aplicadas à eficiência hídrica na agricultura familiar, abrangendo sensores e estações, sistemas de apoio à decisão, IoT, inteligência artificial e automação. Especificamente, pretende-se mapear as tecnologias empregadas, reunir e discutir indicadores de eficiência hídrica e energética reportados nos estudos, identificar barreiras e habilitadores de adoção e propor recomendações práticas orientadas ao público da agricultura familiar.

A justificativa repousa em três frentes complementares. Em primeiro lugar, no imperativo da sustentabilidade hídrica, dado o papel crítico da irrigação na demanda por água e a necessidade de mitigar perdas por evaporação, drenagem e manejo inadequado. Em segundo lugar, na busca por ganhos de produtividade e estabilidade de rendimento, os quais dependem de reposições hídricas mais aderentes às exigências fenológicas e às condições microclimáticas, e nesse sentido, exatamente o tipo de ajuste que a agricultura digital e a agrocomputação habilitam (Molin *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020). Em terceiro lugar, na relevância social e econômica da agricultura familiar para a segurança alimentar e para o desenvolvimento regional, o que reforça o papel de políticas de conectividade, crédito e capacitação como meios de transformar potencial tecnológico em resultados concretos no território (Milanez *et al.*, 2020). Ao integrar esses elementos, a introdução delimita o escopo e sustenta a pertinência do estudo, alinhando-o à agenda contemporânea da agricultura de precisão e da transformação digital no agro brasileiro (Massruhá; Leite; Bolfe, 2023).

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza básica, com foco na aplicação da agrocomputação e das tecnologias digitais na gestão hídrica na agricultura familiar. Esse tipo de revisão foi escolhido por permitir a sistematização e a síntese do conhecimento científico disponível sobre a aplicação da agrocomputação e das tecnologias digitais na gestão hídrica, com foco na eficiência, sustentabilidade e produtividade da agricultura familiar. O método possibilita reunir e interpretar resultados de estudos anteriores, favorecendo a identificação de tendências, lacunas e perspectivas no uso de ferramentas tecnológicas para o manejo racional da água no contexto agrícola.

A busca de informações foi realizada em bases de dados científicas amplamente reconhecidas, incluindo SciELO, Web of Science e Google Acadêmico, abrangendo publicações produzidas entre 2015 e 2025, sem desconsiderar obras e artigos clássicos de referência conceitual.

O processo de seleção dos materiais seguiu três etapas principais: triagem por título, leitura de resumos e leitura integral dos textos selecionados. Após essa etapa, os dados foram organizados em uma matriz de extração, contendo informações sobre a tecnologia estudada, a cultura agrícola

envolvida, o tipo de sistema de irrigação, os indicadores utilizados (como eficiência de aplicação, produtividade da água e sustentabilidade energética), os resultados observados e as principais barreiras técnicas e socioeconômicas relatadas.

2 A AGROCOMPUTAÇÃO, A ÁGUA E A AGRICULTURA FAMILIAR

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO: DEFINIÇÕES, CONCEITOS E RELAÇÃO

A agricultura de precisão é reconhecida como um marco na modernização dos sistemas produtivos, caracterizando-se pelo manejo diferenciado das lavouras a partir da variabilidade espacial e temporal do solo e das plantas. Essa prática visa otimizar o uso de insumos e recursos, elevando a eficiência produtiva e reduzindo impactos ambientais (Inamasu *et al.*, 2024).

Com o avanço das tecnologias digitais, esse conceito expandiu-se para além do monitoramento pontual, passando a integrar plataformas de dados em nuvem, algoritmos de inteligência artificial, IoT e big data, o que caracteriza a agrocomputação. Diferentemente da agricultura de precisão, que se concentra no manejo localizado com base em mapas e sensores, a agrocomputação abrange uma infraestrutura computacional mais ampla que coleta, organiza, processa e devolve informações como suporte direto à tomada de decisão no campo (Souza *et al.*, 2020).

A consolidação da Agricultura 4.0 e, mais recentemente, das perspectivas da Agricultura 5.0, evidencia a transição histórica do setor. A Agricultura 4.0 resume-se à aplicação de tecnologias digitais emergentes, como robótica, sistemas ciberfísicos e inteligência artificial, a fim de ampliar os limites da agricultura de precisão, aproximando o manejo de um paradigma plenamente orientado por dados.

A Agricultura 5.0, por sua vez, aprofunda essa transformação, incorporando maior preocupação com aspectos de sustentabilidade e integração homem-máquina, reforçando o protagonismo dos dados como elemento central de gestão agrícola (Massruhá; Leite; Bolfe, 2023).

Segundo a International Society of Precision Agriculture (2024), a agricultura de precisão é um sistema gerencial que responde à variabilidade espaço-temporal. Essa definição sustenta a evolução rumo à agricultura digital e à agrocomputação, nas quais plataformas de dados e recursos de IA ampliam o alcance do manejo localizado. Essa transição é sustentada pelas bases geotecnológicas e de sensoriamento remoto que formam o alicerce da agricultura digital.

O uso de geotecnologias, como sistemas de informação geográfica e imagens de satélite, é indispensável para a coleta, integração e análise de dados em escala, constituindo a espinha dorsal das plataformas de agrocomputação (Macário *et al.*, 2020). Pesquisadores também reforçam que a agricultura digital amplia a capacidade de resposta a variações no campo ao incorporar métodos computacionais que auxiliam no manejo localizado, potencializando a eficiência já proposta pela agricultura de precisão (Molin *et al.*, 2020).

Um dos exemplos mais evidentes dessa evolução é a irrigação de precisão, que representa a aplicação direta da lógica da agrocomputação. Esse modelo de irrigação baseia-se em sensores de solo, clima e planta, aliados a algoritmos e sistemas de automação, que permitem acionar sistemas de irrigação de maneira precisa, reduzindo desperdícios e otimizando a eficiência hídrica. Estudos recentes indicam que essa prática ganha destaque no cenário agrícola brasileiro, pois combina sustentabilidade ambiental com aumento de produtividade (Gundim *et al.*, 2023).

No caso específico do estado de Rondônia, o conceito de agrocomputação está institucionalizado por meio de programas de ensino superior, como o curso de Tecnólogo em Agrocomputação do Instituto Federal de Rondônia. Esse curso define a agrocomputação como uma área destinada a projetar soluções computacionais aplicadas às ciências agrárias, o que confirma sua relevância regional como campo de formação profissional alinhado às necessidades locais (IFRO, 2022).

2.2 USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO MEIO RURAL: AVANÇOS E BARREIRAS

O uso de tecnologias digitais no meio rural brasileiro tem se intensificado nas últimas décadas, sobretudo pela crescente disponibilidade de internet e pela popularização dos smartphones como principal dispositivo de acesso. Pesquisas recentes indicam que houve uma ampliação significativa no número de domicílios rurais com acesso à internet, embora persistam diferenças importantes quando comparados aos centros urbanos. Dados oficiais mostram que, em 2023, a internet estava presente em 94,1% dos domicílios urbanos e em 81,0% dos domicílios rurais, um avanço expressivo em relação a anos anteriores, mas ainda marcado por desigualdades (IBGE, 2024), dados esses reforçado pelo relatório TIC Domicílios 2023, o que evidencia a capacidade de os agricultores se conectarem e utilizarem aplicativos de gestão, redes sociais e plataformas de assistência técnica (Partridge, 2024).

Esses avanços refletem diretamente na adoção de sensores, softwares de gestão e plataformas digitais no campo, permitindo maior integração de processos produtivos. Estudos apontam que cerca de 84% dos produtores já utilizam alguma forma de tecnologia digital em suas atividades, como aplicativos de monitoramento, sistemas de georreferenciamento e softwares de gestão agrícola, o que demonstra a crescente penetração dessas ferramentas no meio rural (Bolfe; Jorge; Sanches, 2021).

No entanto, apesar do crescimento da conectividade e do uso de ferramentas digitais, barreiras estruturais ainda comprometem a plena adoção dessas tecnologias. A literatura destaca a insuficiência da infraestrutura de rede, os altos custos de equipamentos e serviços, além da carência de capacitação técnica para utilização efetiva dessas ferramentas.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social identificou a conectividade como a principal barreira para a consolidação da Agricultura 4.0 no Brasil, destacando que menos de 30%

dos estabelecimentos tinham acesso à internet em 2017 e que os custos de implantação de antenas e manutenção de redes inviabilizam o acesso em áreas isoladas e em pequenas propriedades (Milanez *et al.* 2020). Além disso, análises de políticas públicas mostram que a ausência de incentivos adequados e de programas de crédito específicos para pequenos agricultores acentua a exclusão digital no campo (Buainain; Cavalcante; Consoline, 2021; Pereira; Castro, 2022).

Em nível regional, estudos em Rondônia apontam que, embora produtores utilizem cada vez mais aplicativos de mensagens e redes sociais como canais de acesso à informação, ainda enfrentam dificuldades relacionadas à qualidade da conexão e à capacitação para uso pleno dessas ferramentas. Pesquisa conduzida pela Embrapa Rondônia mostra que o WhatsApp, por exemplo, é a ferramenta digital mais utilizada por agricultores familiares, sendo frequentemente mediada por filhos ou jovens da família para superar barreiras de letramento digital (Embrapa Rondônia, 2023). Além disso, relatórios institucionais da EMATER (Entidade Autárquica de Assistência Técnica e Extensão Rural) de Rondônia reforçam a importância da assistência técnica e da extensão rural digitalizadas como formas de superar barreiras de capacitação e apoiar a difusão tecnológica no estado (EMATER, 2022).

Assim, o cenário brasileiro combina avanços expressivos no uso de tecnologias digitais, principalmente em termos de conectividade e adoção de dispositivos móveis, com barreiras persistentes de infraestrutura, capacitação e políticas públicas. No caso de Rondônia, o contexto revela que, apesar das limitações, há forte potencial de expansão da agricultura digital por meio do fortalecimento da extensão rural e do acesso a ferramentas de baixo custo, ancoradas na realidade da agricultura familiar amazônica.

2.3 FERRAMENTAS DE GESTÃO HÍDRICA: SENSORES, SOFTWARES, IoT, IA E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

O uso de ferramentas digitais voltadas à gestão hídrica constitui uma das áreas mais promissoras da agrocomputação. Entre os instrumentos mais utilizados estão os sensores de umidade do solo, os tensiômetros eletrônicos e as estações meteorológicas automáticas, que fornecem dados contínuos sobre as condições ambientais e do solo. Esses dispositivos permitem avaliar a disponibilidade hídrica para as plantas e definir, de maneira precisa, o momento ideal para a irrigação. Estudos recentes mostram que a integração de sensores ao manejo agrícola aumenta a precisão das decisões, reduz desperdícios e melhora a eficiência de aplicação (Silva *et al.*, 2020).

Além dos sensores, os sistemas de apoio à decisão (SAD) desempenham papel estratégico ao combinar variáveis como evapotranspiração de referência (ET_0), coeficiente de cultura (K_c), precipitação e armazenamento de água no solo. Esses sistemas permitem calcular a lâmina necessária de irrigação para cada período, orientando o manejo hídrico com base em parâmetros técnicos

consolidados. O uso do sistema Agritempo, por exemplo, oferece dados climáticos e hídricos de estações meteorológicas distribuídas nacionalmente, constituindo uma importante base para o cálculo de balanço hídrico e definição de estratégias de irrigação (Bambini *et al.*, 2015).

A evolução das tecnologias digitais tem possibilitado a incorporação da Internet das Coisas (IoT) e da inteligência artificial (IA) na agricultura irrigada. A IoT permite conectar sensores, atuadores e softwares em redes integradas, que realizam monitoramento em tempo real e acionam equipamentos automaticamente. Já a IA contribui para a predição da demanda hídrica, a programação de irrigação e a análise de grandes volumes de dados gerados no campo. Pesquisas destacam que algoritmos baseados em aprendizado de máquina podem prever a necessidade hídrica de diferentes culturas, ajustando lâminas e turnos de irrigação de forma otimizada e melhorando indicadores de eficiência, como a produtividade da água (WUE) e a produtividade da irrigação (IWP) (Alvim *et al.*, 2022).

Outro aspecto fundamental é a adoção de sistemas inteligentes de irrigação. O gotejamento, aliado à fertirrigação e ao monitoramento automatizado, tem mostrado resultados consistentes na redução do consumo de água e no aumento da eficiência de distribuição, principalmente em culturas permanentes.

Em Rondônia, a Embrapa desenvolveu manuais técnicos que orientam a fertirrigação do café robusta em fase de produção, destacando a importância da automação para garantir maior eficiência de aplicação e melhor qualidade do produto final (Cararo; Espindula, 2022). No caso dos pivôs centrais, pesquisas recentes indicam que o uso de sensores, telemetria e controle automatizado das válvulas e bombas pode aumentar substancialmente a eficiência de aplicação (E_a), a uniformidade de distribuição (DU/CU) e reduzir custos energéticos (Guimarães; Landau, 2024).

A combinação dessas ferramentas permite relacionar o manejo hídrico a indicadores técnicos essenciais. A eficiência de aplicação (E_a) e a uniformidade de distribuição (CU/DU) indicam a qualidade da irrigação em termos de homogeneidade e uso racional da água. A produtividade da água (WUE/IWP) relaciona o volume consumido ao rendimento agrícola, evidenciando o impacto direto da irrigação inteligente sobre a produção.

O índice de estresse hídrico da cultura (CWSI) contribui para medir o grau de déficit hídrico sofrido pelas plantas, enquanto a estimativa da evapotranspiração (ET_o/ET_c) orienta de forma técnica a reposição hídrica. Com isso, as ferramentas de gestão hídrica não apenas automatizam processos, mas também geram informações estratégicas para aumentar a eficiência e a sustentabilidade da agricultura.

2.4 BENEFÍCIOS DA AGROCOMPUTAÇÃO: EFICIÊNCIA, SUSTENTABILIDADE E PRODUTIVIDADE

A adoção de tecnologias de agrocomputação voltadas ao manejo hídrico tem mostrado benefícios expressivos em termos de eficiência, sustentabilidade e produtividade. Estudos empíricos evidenciam que, ao integrar sensores, sistemas de apoio à decisão, IoT e automação, é possível reduzir significativamente o consumo de água sem comprometer a produtividade agrícola. Experimentos conduzidos pela Embrapa Semiárido, por exemplo, identificaram que a manga da variedade Palmer pode ter redução de até 31% no uso de água em irrigação, sem prejuízo da qualidade dos frutos, por meio da redefinição dos coeficientes de cultivo (Rocha, 2024).

Outro exemplo relevante é o sensor IGstat, desenvolvido pela Embrapa em parceria com a FAPESP, que possibilitou economia de aproximadamente 10% no uso de água e aumento de até 15% no peso fresco de alface quando comparado a sistemas de irrigação convencionais. A automação associada ao sensor também gerou redução superior a 65% no gasto energético, indicando que os ganhos da agrocomputação não se limitam à eficiência hídrica, mas se estendem à sustentabilidade energética do processo (Silva, 2024).

Práticas de irrigação deficitária controlada (RDI) e secagem parcial da zona radicular (PRD) também têm se mostrado eficientes no aumento da produtividade da água (WUE) em culturas de manga, especialmente em regiões semiáridas. Ensaios realizados na Bahia mostraram que estratégias de irrigação com déficit controlado entre 40% e 75% da evapotranspiração da cultura (ETc) resultaram em maior eficiência hídrica sem comprometer a produtividade, reforçando que o uso racional da água é viável em condições de restrição (Santos *et al.*, 2020; Cotrim *et al.*, 2018).

Em hortaliças, pesquisas demonstraram que o gotejamento por pulsos elevou a produtividade da água no cultivo de coentro, reforçando o potencial das estratégias de aplicação fracionada para reduzir desperdícios (Zamora *et al.*, 2019).

A revisão de literatura sobre irrigação na era da Agricultura 4.0 também destaca que sensores, telemetria e algoritmos analíticos embasaram tomadas de decisão mais precisas, com impactos na redução de perdas, no uso racional da água e na melhoria da qualidade final das culturas. Esses ganhos tornam a agrocomputação uma aliada não apenas da sustentabilidade hídrica, mas também da estabilidade produtiva e da resiliência frente às mudanças climáticas (Silva *et al.*, 2021).

Em escala regional, iniciativas em Rondônia comprovam os benefícios do uso de tecnologias digitais no manejo hídrico. A fertirrigação do café robusta, orientada por manuais técnicos da Embrapa Rondônia, mostrou que o uso de gotejamento associado à automação resulta em maior precisão no fornecimento de água e nutrientes, além de ganhos de produtividade e qualidade do café (Cararo; Espindula, 2022).

Do mesmo modo, sistemas inteligentes de pivô central, equipados com sensores e telemetria, aumentam a eficiência de aplicação e reduzem o consumo de energia, demonstrando a contribuição da agrocomputação para a sustentabilidade ambiental e econômica (Guimarães; Landau, 2024).

Assim, a agrocomputação consolida-se como uma estratégia essencial para promover eficiência hídrica, reduzir custos energéticos e aumentar a produtividade da agricultura familiar. Ao integrar soluções digitais, promove-se não apenas o uso racional da água, mas também a sustentabilidade do sistema agrícola e a segurança alimentar em longo prazo.

2.5 A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO HÍDRICA NA AGRICULTURA FAMILIAR

A agricultura familiar representa um dos pilares da produção de alimentos no Brasil, sendo responsável por cerca de 70% dos alimentos que compõem a mesa dos brasileiros, de acordo com dados do Censo Agropecuário do IBGE (2017). Esse segmento produtivo, caracterizado por propriedades de menor escala e forte vínculo entre família e trabalho, desempenha papel fundamental na segurança alimentar, na geração de renda e na preservação da cultura rural (Ekert; Mokfa; Silva, 2025). Contudo, a sustentabilidade dessas unidades produtivas depende diretamente da disponibilidade e da gestão adequada dos recursos hídricos, especialmente em um cenário marcado por mudanças climáticas, irregularidade de chuvas e aumento das temperaturas médias.

A gestão hídrica eficiente torna-se essencial para garantir a continuidade da produção e a estabilidade dos rendimentos agrícolas. A agricultura familiar enfrenta desafios particulares, como a falta de infraestrutura de irrigação, a escassez de tecnologias acessíveis e a dependência quase exclusiva das chuvas (Silva *et al.*, 2020). Essa vulnerabilidade climática compromete o planejamento produtivo e pode gerar perdas significativas, principalmente em regiões semiáridas e amazônicas, onde a sazonalidade das chuvas é marcante (Silva *et al.*, 2020). Assim, o manejo racional da água, com base em informações técnicas e ferramentas digitais, constitui uma alternativa estratégica para aumentar a resiliência das pequenas propriedades frente às variações climáticas.

Além das limitações naturais, a carência de políticas públicas efetivas voltadas ao investimento em irrigação e ao fortalecimento tecnológico do campo ainda é um obstáculo relevante. De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Milanez *et al.*, 2020), a baixa conectividade rural e a ausência de programas de financiamento adequados para inovação tecnológica restringem o acesso dos pequenos produtores às soluções digitais. Isso evidencia que o desafio não é apenas técnico, mas também estrutural, envolvendo dimensões econômicas, sociais e políticas. A inclusão tecnológica, portanto, precisa ser acompanhada de capacitação técnica e de apoio institucional para que o agricultor possa compreender, operar e manter os sistemas implementados.

O uso racional da água na agricultura familiar está diretamente ligado à eficiência hídrica, que pode ser compreendida como a capacidade de aplicar apenas o volume necessário de água no momento adequado, de forma uniforme e sem desperdícios (Molin *et al.*, 2020). Essa eficiência é obtida por meio da combinação entre práticas de conservação do solo, manejo de irrigação inteligente e monitoramento climático. Assim, a gestão hídrica eficiente não se limita ao uso de tecnologias, mas abrange um conjunto integrado de estratégias ambientais, econômicas e sociais que visam à sustentabilidade produtiva e à preservação dos recursos naturais (Molin *et al.*, 2020).

Em síntese, a gestão da água na agricultura familiar deve ser vista como elemento estruturante da sustentabilidade rural. O fortalecimento da eficiência hídrica associado à adoção de tecnologias acessíveis e à formulação de políticas públicas de incentivo, é um caminho promissor para reduzir desigualdades, aumentar a competitividade e garantir a segurança alimentar das futuras gerações (Molin *et al.*, 2020).

2.6 TECNOLOGIAS PARA O USO EFICIENTE DA ÁGUA

O desenvolvimento da agrocomputação e da agricultura de precisão tem impulsionado a introdução de tecnologias inovadoras voltadas ao uso racional da água nas pequenas propriedades rurais. Essas ferramentas digitais permitem o monitoramento em tempo real das condições do solo, da planta e do clima, promovendo um manejo mais assertivo e sustentável dos recursos hídricos (Cararo; Espindula, 2022). Entre as principais tecnologias aplicadas à irrigação eficiente destacam-se os sistemas de irrigação localizada, os sensores de umidade do solo, os tensiômetros eletrônicos e os sistemas automatizados de irrigação controlados por IoT (Internet das Coisas) e IA (Inteligência Artificial).

Os sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento e a microaspersão, são amplamente utilizados por agricultores familiares por possibilitarem uma aplicação precisa da água diretamente na zona radicular das plantas. Essa técnica, de acordo com Esteves (2012), reduz significativamente as perdas por evaporação e percolação profunda, além de otimizar o uso de energia elétrica e fertilizantes. Segundo Cararo e Espindula (2022), a adoção do gotejamento aliado à fertirrigação em plantações de café robusta no estado de Rondônia resultou em aumento de produtividade e melhoria na qualidade dos grãos, demonstrando o potencial da automação na irrigação de culturas permanentes.

Os sensores de umidade do solo e os tensiômetros eletrônicos representam outra inovação importante para a agricultura familiar. Estes dispositivos fornecem dados contínuos sobre a disponibilidade de água no solo, permitindo determinar o momento exato para irrigar, evitando tanto o déficit quanto o excesso de água (Cunha; Rocha, 2015). Essa prática reduz custos operacionais e aumenta a eficiência da aplicação, contribuindo para uma produção mais sustentável (Silva *et al.*,

2020). Além disso, as informações coletadas pelos sensores podem ser integradas a sistemas de apoio à decisão (SAD), que utilizam parâmetros como a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura para calcular a lâmina ideal de irrigação.

Com o avanço da conectividade e das tecnologias digitais, a integração de sistemas por IoT e IA tem se tornado cada vez mais acessível. Essas ferramentas permitem que bombas e válvulas sejam acionadas automaticamente de acordo com as condições monitoradas, otimizando o uso da água e reduzindo a necessidade de intervenção manual (Brito *et al.*, 2024). Estudos recentes destacam que algoritmos baseados em aprendizado de máquina são capazes de prever a demanda hídrica de diferentes culturas e ajustar a irrigação de forma dinâmica, garantindo melhor aproveitamento dos recursos e reduzindo perdas (Alvim *et al.*, 2022).

Além das soluções automatizadas, práticas complementares como a captação e o armazenamento de água da chuva, o reúso de efluentes tratados e o uso de coberturas vegetais contribuem para aumentar a sustentabilidade hídrica das pequenas propriedades (Gundim *et al.*, 2023). A adoção de cisternas e reservatórios possibilita o acúmulo de água em períodos chuvosos para uso durante a estiagem, enquanto o reúso de águas residuais tratadas reduz a dependência de fontes superficiais. Já o uso de coberturas vegetais auxilia na conservação da umidade e na redução da erosão do solo, melhorando a infiltração e a retenção de água (Montenegro *et al.*, 2022).

Dessa forma, o conjunto de tecnologias e práticas associadas à agrocomputação tem contribuído para consolidar um novo paradigma de manejo hídrico sustentável, no qual a eficiência no uso da água está diretamente ligada à sustentabilidade ambiental e à rentabilidade econômica das propriedades familiares. A integração entre inovação tecnológica, conservação dos recursos naturais e valorização do conhecimento técnico representa o caminho mais promissor para fortalecer a agricultura familiar no contexto da agricultura digital (Gundim *et al.*, 2023).

2.7 EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS DE SUCESSO

As experiências práticas e estudos de caso realizados em diferentes regiões do Brasil têm demonstrado o impacto positivo das tecnologias digitais na otimização do manejo hídrico e na sustentabilidade da produção agrícola.

Um exemplo promissor foi conduzido pela Embrapa Semiárido, realizado com a mangueira Palmer, cultivar semi-anã, de copa aberta e originada na Flórida (Santos, 2021), que avaliou o uso de sensores de umidade do solo e sistemas automatizados de irrigação na cultura no estado de Pernambuco. Os resultados mostraram uma redução de até 31% no consumo de água, sem prejuízo da produtividade e da qualidade dos frutos, o que evidencia a eficácia das soluções digitais na melhoria da eficiência hídrica. Essa economia foi obtida com o monitoramento preciso da evapotranspiração e

o controle automatizado da irrigação, fatores que reduziram o desperdício e o uso excessivo de energia elétrica (Rocha, 2024).

Outro exemplo relevante de inovação é o sensor IGstat, desenvolvido em parceria entre a Embrapa Instrumentação e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP (Silva, 2024). Esse dispositivo utiliza algoritmos de aprendizado de máquina para realizar medições de condutividade elétrica do solo e identificar o momento ideal para irrigação. Testes realizados em cultivos de alface demonstraram uma economia de aproximadamente 10% no volume de água utilizado e um aumento de 15% na massa fresca das plantas, quando comparados a sistemas convencionais. Além disso, houve redução de 65% no gasto energético, resultado atribuído à automação do processo de irrigação, o que reforça a viabilidade econômica e ambiental das tecnologias digitais aplicadas à agricultura familiar.

No âmbito regional, o estado de Rondônia tem se destacado pela implementação de práticas de irrigação inteligente e pela digitalização da assistência técnica rural. A Embrapa Rondônia e a Emater-RO têm desenvolvido ações voltadas à fertirrigação automatizada do café robusta, cultura de grande importância econômica para o estado. O uso combinado de sensores de umidade, gotejamento controlado e automação permitiu melhorar a uniformidade de distribuição da água, reduzir desperdícios e elevar a qualidade dos grãos produzidos, conforme relatado por Cararo e Espindula (2022). Essas experiências reforçam a importância de políticas públicas e programas de capacitação técnica voltados ao uso de tecnologias digitais no contexto amazônico.

Além das experiências diretamente ligadas à agrocomputação, o Brasil também apresenta exemplos de tecnologias sociais e soluções híbridas de baixo custo que contribuem para a gestão sustentável da água em comunidades rurais. O Projeto Água Doce, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria com universidades e órgãos públicos, promove a dessalinização da água subterrânea por meio de energia solar, beneficiando milhares de famílias no semiárido (Tordin, 2013). Já o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), apoiado pela CEPAL (Buainain; Cavalcante; Consoline, 2021), possibilitou a construção de reservatórios para captação de água da chuva, garantindo o abastecimento para consumo e produção em períodos de estiagem. Essas iniciativas demonstram que a integração entre ciência, tecnologia e participação comunitária é fundamental para o sucesso das políticas de sustentabilidade hídrica (Neves *et al.*, 2010).

Dessa forma, os casos de sucesso observados, tanto em pequena quanto em larga escala, evidenciam a importância da adoção de estratégias tecnológicas que promovem ganhos expressivos quanto a eficiência hídrica e sustentabilidade. A aplicação de sensores, automação e irrigação inteligente, quando acompanhada de apoio técnico e políticas públicas adequadas, transforma a gestão

hídrica em uma prática estratégica para o fortalecimento da agricultura familiar no Brasil (Neves *et al.*, 2010).

2.8 DESAFIOS E BARREIRAS NA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS

Apesar dos resultados promissores obtidos com o uso de tecnologias digitais no manejo hídrico, a sua adoção ainda é limitada por barreiras estruturais, econômicas e sociais, especialmente entre os agricultores familiares. O primeiro desafio é o alto custo de implantação e manutenção dos equipamentos, que inclui sensores, softwares, estações meteorológicas e infraestrutura de comunicação. A falta de conectividade rural, apontada como o principal entrave à difusão da Agricultura 4.0, restringe a funcionalidade de sistemas baseados em IoT e limita o acesso a plataformas de dados e monitoramento em tempo real (Milanez *et al.*, 2020). Em muitas regiões, a cobertura de internet é reduzida ou inexistente, pela falta de interesse das operadoras de telecomunicações, que investe seus recursos em áreas de maior concentração populacional (Bernardocki; Murakami; Costa, 2023), inviabilizando o uso de ferramentas que dependem da transmissão contínua de informações.

Outro fator importante é a deficiência na capacitação técnica dos agricultores, que em sua maioria possuem baixa escolaridade e formação insuficiente para operar e interpretar os dados gerados pelas novas tecnologias (Oliveira; Araújo; Queiroz, 2017). A ausência de assistência técnica e extensão rural continuada agrava essa situação, pois impede a consolidação do aprendizado e o uso eficiente das ferramentas digitais. Pesquisas indicam que a adoção de tecnologias depende fortemente de processos educativos e de acompanhamento técnico, uma vez que o domínio das ferramentas é essencial para garantir resultados efetivos (Pereira; Castro, 2022).

Além das limitações individuais e regionais, as barreiras institucionais também comprometem o avanço da digitalização no campo. O acesso a crédito rural e financiamento direcionado à inovação tecnológica ainda é restrito para pequenos produtores. Programas de incentivo e subsídios governamentais, quando existem, são burocráticos e de difícil alcance. A ausência de políticas públicas integradas que unam conectividade, capacitação e financiamento representa um dos principais gargalos para o avanço da agrocomputação entre agricultores familiares (Milanez *et al.*, 2020).

Outro desafio relevante é o descompasso entre o desenvolvimento tecnológico e a infraestrutura local. A implementação de sistemas automatizados requer energia estável, conectividade mínima e suporte técnico para manutenção. Em muitas regiões da Amazônia e do Nordeste, essas condições ainda não estão plenamente atendidas, o que reduz a sustentabilidade e a longevidade das soluções instaladas (Milanez *et al.*, 2020).

Superar essas barreiras exige arranjos institucionais colaborativos, capazes de integrar governo, instituições de pesquisa, empresas de tecnologia e organizações de assistência técnica. A inclusão

digital rural deve ser tratada como política estratégica, e não apenas como um projeto setorial. Investir em capacitação, ampliar o acesso à internet de qualidade e criar linhas de crédito específicas para a adoção de tecnologias digitais são medidas fundamentais para democratizar o acesso à inovação e promover uma agricultura familiar mais eficiente, sustentável e resiliente (Souza, 2023).

Em síntese, os desafios enfrentados pela adoção das tecnologias de agrocomputação refletem um cenário de transição, no qual a modernização do campo avança em ritmo desigual. Contudo, com políticas públicas consistentes e o fortalecimento da assistência técnica, é possível reduzir as desigualdades tecnológicas e consolidar um modelo de gestão hídrica baseado na ciência, na sustentabilidade e na inclusão social.

2.9 PERSPECTIVAS FUTURAS

As perspectivas futuras para a gestão hídrica na agricultura familiar apontam para uma transformação digital cada vez mais inclusiva e sustentável, impulsionada pela disseminação de tecnologias acessíveis e pela consolidação de práticas voltadas à eficiência no uso da água. De acordo com a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (2024), o avanço da agricultura digital e da agrocomputação vem promovendo a criação de soluções modulares e de baixo custo, adaptadas à realidade das pequenas propriedades rurais. Nesse contexto, sensores simplificados, plataformas de monitoramento via smartphone e algoritmos de inteligência artificial (IA) capazes de prever a necessidade de irrigação com base em dados climáticos e do solo configuram uma nova fase da gestão hídrica inteligente (Massruhá; Leite; Bolfe, 2023).

A tendência é que o uso de sensores e sistemas automatizados se torne cada vez mais acessível, com a redução dos custos de produção e o fortalecimento de parcerias entre instituições de pesquisa, empresas de tecnologia e órgãos públicos. Essa popularização permitirá que os agricultores familiares adotem tecnologias antes restritas a grandes propriedades, promovendo equidade tecnológica e aumento da produtividade. Além disso, a integração de redes de Internet das Coisas (IoT) com sistemas móveis de controle permitirá o acompanhamento remoto de parâmetros como umidade do solo, temperatura e lâmina aplicada, proporcionando decisões mais precisas e sustentáveis (Silva *et al.*, 2021).

Outro aspecto essencial das perspectivas futuras é a incorporação dos princípios da agroecologia e da sustentabilidade no desenvolvimento das tecnologias digitais aplicadas ao campo. Essa convergência entre inovação tecnológica e conservação ambiental promove um modelo de produção mais equilibrado, que busca conciliar o aumento da produtividade com a preservação dos ecossistemas. As práticas agroecológicas, como o uso de coberturas vegetais, compostagem e manejo

integrado da água e do solo, podem ser potencializadas por ferramentas de agrocomputação, que auxiliam no monitoramento e na avaliação de impactos ambientais (Gundim *et al.*, 2023).

Para que essas transformações se consolidem, é indispensável o fortalecimento das políticas públicas de incentivo à inovação rural. A criação de programas que integrem crédito rural, conectividade e capacitação tecnológica é fundamental para garantir que os benefícios da agricultura digital alcancem as comunidades mais afastadas e os produtores de menor escala. A expansão da infraestrutura de internet nas áreas rurais e o estímulo à formação técnica voltada ao uso de tecnologias digitais são passos estratégicos para ampliar a eficiência e a sustentabilidade no campo (Milanez *et al.*, 2020).

Dessa forma, as tendências futuras indicam que a agrocomputação se consolidará como um instrumento estratégico não apenas para aumentar a eficiência hídrica, mas também para fortalecer a sustentabilidade energética e a segurança alimentar. Ao aliar inovação tecnológica, inclusão digital e compromisso ambiental, a agricultura familiar brasileira poderá alcançar um novo patamar de produtividade e resiliência, contribuindo de maneira decisiva para o desenvolvimento sustentável e para o cumprimento das metas da Agenda 2030 da ONU (2015), especialmente os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) 2 e 12, voltados à fome zero e à produção e consumo responsáveis.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa evidencia que a agrocomputação desempenha papel estratégico na otimização do uso da água na agricultura familiar, contribuindo para maior eficiência, sustentabilidade e produtividade. A integração de sensores de umidade do solo, sistemas de apoio à decisão, Internet das Coisas e inteligência artificial permite o monitoramento mais preciso das condições hídricas, reduz desperdícios e melhora o planejamento da irrigação, o que se traduz em expressivas reduções no consumo de água e em ganhos de produtividade em diferentes culturas. Na prática, isso significa que pequenas propriedades podem produzir mais com menos água, ajustando o manejo hídrico a partir de dados em tempo real e de ferramentas digitais acessíveis, especialmente quando associadas a tecnologias de baixo custo e a sistemas de irrigação mais eficientes.

Ao mesmo tempo, a pesquisa reforça que a consolidação da agrocomputação na agricultura familiar depende de condições estruturais e institucionais, como conectividade adequada, acesso a crédito, assistência técnica contínua e políticas públicas integradas. A capacitação dos agricultores torna-se elemento central, pois o uso qualificado de ferramentas de monitoramento, automação e análise de dados exige formação técnica e acompanhamento de instituições públicas e privadas. Nesse sentido, programas de extensão rural digital, ações de inclusão tecnológica e iniciativas voltadas à formação em gestão hídrica e inovação no campo têm implicações práticas diretas, uma vez que

favorecem a adoção efetiva das tecnologias e ampliam a resiliência das pequenas propriedades frente às mudanças climáticas, contribuindo para a segurança alimentar e para o desenvolvimento socioeconômico sustentável do país.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, S. J. T.; ALMEIDA, J. R.; CUNHA, J. P.; PEREIRA, L. M.; RODRIGUES, M. G.; FREITAS, T. P. Application of artificial intelligence for irrigation. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 3, p. e20220012, 2022.
- BAMBINI, M. D.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; ROMANI, L. A. S.; OLIVEIRA, F. A.; QUEIROZ, T. M.; SOUZA, F. R. **Manual on-line do sistema Agritempo versão 2.0**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2015. (Série Documentos, 132).
- BERNARDOCKI, Paulo; MURAKAMI, Rafael Guem; COSTA, Bruno Andrade. CONECTIVIDADE NA AGRICULTURA: BARREIRAS E BENEFÍCIOS. **Revista de Inovação e Tecnologia - RIT**, São Paulo, v. 13, n. 1, 2023. Disponível em: <https://rit.openjournalsolutions.com.br/index.php/rit/article/view/90>.
- BOLFE, Édson Luis; JORGE, Lúcio André de Castro; SANCHES, Ieda Del'Arco. Tendências, desafios e oportunidades da agricultura digital no Brasil. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 7, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138840/1/AP-Tendencias-desafios-oportunidades-2021.pdf>.
- BRITO, António Pimenta de. Blockchain and sustainable forest supply chain management: a literature review. In: SOUSA, Maria José; WORKNEH, Tewabe Chekole; HOLTSKOG, Halvor (org.). **Blockchain as a technology for environmental sustainability**. Boca Raton: CRC Press, 2024. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003260905-7>.
- BUAINAIN, A. M.; CAVALCANTE, P.; CONSOLINE, L. Estado atual da agricultura digital no Brasil: inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais. Brasília: CEPAL; FAO; IICA, 2021.
- CARARO, D. C.; ESPINDULA, M. C. **Manual para recomendação de NPK via fertirrigação para café Robusta em fase de produção na Amazônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2022. (Circular Técnica, 152).
- CETIC.br; CGI.br. **TIC Domicílios 2023**. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2024.
- COTRIM, C. E.; COELHO, E. F.; SILVA, J. A.; COELHO FILHO, M. A.; SANTOS, M. R. Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira 'Tommy Atkins' sob gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 8, p. 2229–2238, 2018.
- EKERT, G. D; MOKFA, S. A; SILVA, N. A contribuição da agricultura familiar de pequena escala para a soberania alimentar no brasil e a invisibilidade da heterogeneidade no campo. **Revista Contemporânea**, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/7274>.
- EMATER-RO. **Relatório PROATER 2022** (Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural). Porto Velho, 2022.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA; FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sensor automatizado para controle da irrigação é destaque na AgroBrasília**. Agência de Notícias Embrapa, 22 maio 2024. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/89531020/sensor-automatizado-para-controle-da-irrigacao-e-destaque-na-agrobrasil>.

FAPESP. **Sensor para irrigação gera economia e aumenta a produtividade da lavoura.** Agência FAPESP, 2024.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C., **Agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2024.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 261. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2024.

GUIMARÃES, T. G.; LANDAU, E. C. **Componentes de um sistema inteligente de irrigação por pivô central.** Embrapa: Brasília, 2024.

GUNDIM, A. da S.; MELO, V. G. M. L.; COELHO, R. D.; SILVA, J. P.; ROCHA, M. P. A.; FRANÇA, A. C. F.; CONCEIÇÃO, A. M. P. Precision irrigation: trends and perspectives — a review. **Ciência Rural**, 2023.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017:** síntese de resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. **Internet was accessed in 72.5 million Brazilian households in 2023.** Agência IBGE Notícias, 2024.

IFRO. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia. Projeto Pedagógico do curso Superior de Tecnologia em Agrocomputação do IFRO *Campus* Avançado São Miguel do Guaporé: CONSUP, 2021.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; PIRES, J. L. F.; GEBLER, L.; JORGE, L. A. C.; BASSOI, L. H. **Agricultura de precisão: perspectiva histórica e de constante transformação.** *IN: Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar na Era Digital.* São Carlos: Editora Cubo, 2024.

ISPA - INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE. **Precision Agriculture Definition.** 2024.

MACÁRIO, C. G. do N.; ESQUERDO, J. C. D. M.; COUTINHO, A. C.; SPERANZA, E. A.; SILVA, J. dos S. V.; ANTUNES, J. F. G.; VENDRÚSCULO, L. G.; CRUZ, S. A. B. **Geotecnologias na agricultura digital.** *IN: Agricultura Digital: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação nas Cadeias Produtivas.* Brasília: Embrapa, 2020.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; BOLFE, É. L. **Agro 4.0.** Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2023.

MILANEZ, A. Y.; MANCUSO, R. V.; MAIA, G. B. S.; GUIMARÃES, D. D.; ALVES, C. E. A.; MADEIRA, R. F. Conectividade rural: situação atual e alternativas para superação da principal barreira à Agricultura 4.0 no Brasil. **BNDES Setorial**, v. 26, n. 52, p. 7–43, 2020.

MOLIN, J. P.; BAZAME, H. C.; MALDANER, L. F.; CORRÊDO, L. P.; MARTELLO, M.; CANATA, T. F. Precision agriculture and the digital contributions for site-specific management of the fields. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, Suplemento Agricultura 4.0, p. 1–10, 2020.

MONTENEGRO, Adauto de Vasconcelos; PINHO, Ana Paula Moreno; TUPINAMBÁ Antonio Caubi Ribeiro. Práticas de Gestão de Pessoas, Inovação Gerencial e Perfis de Comprometimento Organizacional. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbgn/a/smnNSrqnB9DqZ6rDL8SB6Zr/?format=pdf&lang=pt>.

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Valdomiro Gonçalves; MILAN, Paulo; LOPES, Fernanda F.; CRESSONI, Flávia; KALAKI, Rodrigo. **O retrato da citricultura brasileira**. São Paulo: CitrusBR, 2010.

OLIVEIRA, G. R.; ARAÚJO, F. M.; QUEIROZ, C. C. A importância da assistência técnica e extensão rural (ATER) e do crédito rural para a agricultura familiar em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 528-551, set./dez. 2017. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337154296009>.

OLIVEIRA, V. B. V. de. **Interlocações de produtores, técnicos e estudantes no acesso a informações nas redes e mídias sociais**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2023.

OLIVEIRA, Vânia Beatriz Vasconcelos de. **Interlocações de produtores, técnicos e estudantes no acesso a informações nas redes e mídias sociais**. In: CONGRESSO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO NA REGIÃO NORTE, 20., 2023, Boa Vista. Anais [...]. São Paulo: Intercom, 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1156974/1/cpafr-19024.pdf>.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 18 nov. 2025.

PARTRIDGE, Andrew. **The use of ICT in Brazilian households – TIC Domicílios 2023**. Research ICT Africa, 13 set. 2024. Disponível em: <https://researchictafrica.net/research/after-access-research-on-the-use-of-ict-in-brazilian-households-tic-domicilios-2023/>.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. **Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural**. Brasília: IPEA, 2022.

ROCHA, C., **Manga Palmer no Semiárido tem potencial de economizar 31% de água na irrigação**. Embrapa: Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/94052945/manga-palmer-no-semiarido-tem-potencial-de-economizar-31-de-agua-na-irrigacao>

ROCHA, Luís Othávio de Santos; GUIMARÃES, Carla Regina Rocha; OLIVEIRA, Rosângela Aparecida Pereira de. Exploração do uso eficiente de recursos hídricos na agricultura: investigação de técnicas de irrigação e tecnologias para a minimização do desperdício de água. **Revista Foco**, v. 17, n. 4, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n4-128. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/4950>.

SANTOS, Marcelo Rocha dos; COTRIM JUNIOR, Paulo Roberto Fernandes; MESQUITA, Naasoom Luiz Santos; DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues; COELHO, Eugênio Ferreira. Yield and water use efficiency in ‘Tommy Atkins’ and ‘Palmer’ mango trees under localized irrigation with water deficit. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 6, p. 2509-2522, 2020. DOI:

10.5433/1679-0359.2020v41n6p2509. Disponível em:
<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/38303>.

SILVA, Alexsandro Oliveira da; SILVA, Bruna Aires da; SOUZA, Claudinei Fonseca; AZEVEDO, Benito Moreira de; BASSOI, Luís Henrique; VASCONCELOS, Denise Vieira; BONFIM, Guilherme Vieira do; JUAREZ, Juan Manzano; SANTOS, Adão Felipe dos; CARNEIRO, Franciele Morlin. Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, n. esp., 2020. DOI: 10.5935/1806-6690.20200090. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/X9kjMb67FYRTQsFT6sfHJCM>.

SILVA, Alexsandro Oliveira da; SILVA, Bruna Aires da; SOUZA, Claudinei Fonseca; AZEVEDO, Benito Moreira de; BASSOI, Luís Henrique; VASCONCELOS, Denise Vieira; BONFIM, Guilherme Vieira do; JUAREZ, Juan Manzano; SANTOS, Adão Felipe dos; CARNEIRO, Franciele Morlin. Irrigation in the age of Agriculture 4.0: management perceptions, challenges and perspectives. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 64, e20190045, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/X9kjMb67FYRTQsFT6sfHJCM>.

SILVA, Joana. EMBRAPA; FAPESP. Sensor automatizado para controle da irrigação é destaque na AgroBrasília. Agência de Notícias Embrapa, 22 maio 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/89531020/sensor-automatizado-para-controle-da-irrigacao-e-destaque-na-agrobrasilia>.

SOUZA, Izadora Martins da Silva de. **Inclusão, participação e acessibilidade digital para a pessoa com deficiência**. 2023. 199 f. Tese (Doutorado em Educação, Contextos Contemporâneos e Demandas Populares) – Instituto de Educação/Instituto Multidisciplinar de Nova Iguaçu, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/Nova Iguaçu, 2023. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/20013>.

SOUZA, V. L.; KRAUZER, E. A.; LOOSE, C. E.; SOUZA, N. M.; DIAS, A. A.; ALEIXO, A. D.; VIDIGAL FILHO, A. L.; VALE, L. L. Fatores de restrição ao crédito rural destinado à agricultura familiar na perspectiva das instituições financeiras estabelecidas no município de Espigão do Oeste, Rondônia. **Revista Lumen et Virtus**, v. XV, n. XXXIX, p. 3817–3846, 2024.
TORDIN, C. **Estudo levanta a situação atual da agricultura de base ecológica no Brasil e em São Paulo**. Ecodebate, 2011. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2011/06/30/estudo-levanta-a-situacao-atual-da-agricultura-de-base-ecologica-no-brasil-e-em-sao-paulo/>.

ZAMORA, V. R. O.; SILVA, M. M.; SILVA, G. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MENEZES, D.; MENEZES, S. M. Gotejamento por pulsos e lâminas de fertirrigação nas relações hídricas do coentro. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 450–458, 2019.