

# IoT e a Gestão de Recursos Hídricos na Agricultura de Precisão: Uma revisão Sistemática

Bianca dos Santos Marasco Miranda<sup>1</sup>, Juliana Vasconcelos Braga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidade Universitária de Itaberaí – Universidade Estadual de Goiás (UEG)  
Av. Eixo Norte Sul, Lote 14, Qd 36, Bairro: Alto da Bela Vista  
CEP: 76630-000 – Itaberaí – GO – Brasil

<sup>2</sup>Unidade Universitária de Itaberaí – Universidade Estadual de Goiás (UEG)  
Av. Eixo Norte Sul, Lote 14, Qd 36, Bairro: Alto da Bela Vista  
CEP: 76630-000 – Itaberaí – GO – Brasil

bianca28maras@gmail.com, juliana.braga@ueg.br

**Abstract.** *This work presents a Systematic Literature Review (SLR) to analyze the application of the Internet of Things (IoT) in Water Resources Management in Precision Agriculture. Given the pressing issue of water scarcity, the main objective was to map the prevalent technologies and their observed impacts. Using the PRISMA method, the research identified and analyzed scientific articles focused on the area. Results demonstrate that the primary application concentrates on smart irrigation systems, which predominantly use soil moisture sensors and LoRaWAN protocols, promoting a significant increase in Water Use Efficiency (WUE). The study points to high initial cost and the necessity of expertise as the main adoption barriers. It is concluded that IoT is fundamental for agricultural water sustainability, requiring future long-term economic feasibility analyses.*

**Resumo.** *Este trabalho apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para analisar a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na Gestão de Recursos Hídricos na Agricultura de Precisão. Diante da escassez hídrica, o objetivo foi mapear as tecnologias e seus impactos. Utilizando o método PRISMA, a pesquisa identificou e analisou artigos científicos focados na área. Os resultados demonstram que a principal aplicação se concentra em sistemas de irrigação inteligentes, que utilizam majoritariamente sensores de umidade do solo e protocolos LoRaWAN, promovendo um aumento significativo na Eficiência do Uso da Água. O estudo aponta o alto custo inicial e a necessidade de expertise como principais barreiras. Conclui-se que a IoT é fundamental para a sustentabilidade hídrica agrícola, sendo necessárias futuras análises de viabilidade econômica de longo prazo.*

## 1. Introdução

O crescente desafio da escassez hídrica global e a necessidade de aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável têm impulsionado a transição para a Agricultura de Precisão (AP). Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) surge como tecnologia fundamental, permitindo o monitoramento em tempo real de variáveis ambientais e de solo, otimizando o uso de recursos, especialmente a água. Sensores e

atuadores conectados à rede possibilitam a irrigação inteligente e a tomada de decisões baseada em dados, tornando a produção mais sustentável e alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6, 12 e 13 da Organização das Nações Unidas (ODS). No entanto, a aplicação efetiva e os resultados consolidados da IoT na gestão hídrica ainda carecem de mapeamento claro e sistematizado na literatura, especialmente no Brasil.

Entre as atividades humanas, a agricultura é a que mais demanda exploração de recursos hídricos em grande escala. No Brasil, a irrigação representa uma parcela significativa da retirada total de água, sendo indispensável o uso racional desse recurso para garantir sustentabilidade e segurança alimentar. Irrigações mal planejadas podem resultar em desperdícios, perdas econômicas e impactos ambientais severos, como a salinização e a contaminação dos solos (Farias *et al.*, 2020; Gomes e Innocentini, 2022). Nesse contexto, a Agricultura de Precisão (AP), associada à Internet das Coisas (IoT), surge como alternativa estratégica reforçando seu papel como tecnologia crítica para enfrentar os desafios contemporâneos relacionados às alterações climáticas.

A adoção da Agricultura de Precisão no Brasil adquire contornos ainda mais urgentes diante da relevância do agronegócio para a economia nacional e da vulnerabilidade hídrica de determinadas regiões, como o semiárido nordestino. Dados recentes demonstram que cerca de 70% da água doce do planeta é destinada à agricultura, e que o uso ineficiente desse recurso pode comprometer não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também a segurança alimentar (Farias *et al.*, 2020). Nesse cenário, a IoT aparece como solução tecnológica de potencial disruptivo, pois associa eficiência hídrica a ganhos de produtividade, alinhando-se diretamente ao ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ao ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ao ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Além disso, sua implementação promove inovação na gestão agrícola, abrindo espaço para práticas mais resilientes às mudanças climáticas e garantindo competitividade ao setor no cenário global (Trova *et al.*, 2024).

Diante disso, a questão de pesquisa deste trabalho é: **Como a tecnologia IoT tem sido aplicada na gestão de recursos hídricos em sistemas de Agricultura de Precisão e quais são as tendências, vantagens e limitações apontadas pela pesquisa recente?** Vinculado ao questionamento, o objetivo geral deste estudo é **analisar e mapear o panorama atual das aplicações da Internet das Coisas na gestão hídrica da agricultura de precisão**, identificando as tecnologias emergentes predominantes e seus impactos na eficiência do uso da água, bem como eventuais limitações. Para alcançar este propósito, a pesquisa foi conduzida por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). O processo seguiu o método PRISMA (Page *et al.*, 2022), garantindo a replicabilidade das etapas. A metodologia, o desenvolvimento, os resultados encontrados e as considerações finais estão detalhadas nas seções seguintes.

## **2. Metodologia**

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, fundamentada em uma revisão sistemática da literatura sobre o uso da Internet das Coisas (IoT) na gestão de recursos hídricos na agricultura de precisão. O objetivo foi identificar, descrever e analisar as principais tecnologias, sensores e estratégias utilizadas no monitoramento e controle do uso da água em sistemas agrícolas inteligentes.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa se caracteriza como exploratória e descritiva. É exploratória porque visa proporcionar maior familiaridade com o tema,

possibilitando a formulação de reflexões e levantando hipóteses futuras sobre o uso da IoT na agricultura, e é descritiva porque pretende mapear e caracterizar os dispositivos, métodos e abordagens encontrados nos estudos analisados, descrevendo vantagens, limitações e lacunas identificadas na literatura (Page *et al.*, 2022).

## **2.1. Procedimentos de coleta e análise de dados**

A revisão foi conduzida com base nas diretrizes do protocolo PRISMA (Page *et al.*, 2022), que orienta a realização e a comunicação de revisões de forma transparente e reprodutível. As etapas seguiram o processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, conforme preconizado por esse protocolo.

As buscas foram realizadas entre janeiro e outubro de 2025 em cinco portais (Scopus, Web of Science, SciELO, Portal de Periódicos CAPES e Google Scholar), utilizando os termos-chave: (“IoT” OR “Internet das Coisas”) AND (“Agricultura de Precisão”) AND (“Gestão Hídrica” OR “Gestão da água”). Após a seleção foram aplicados critérios de inclusão e exclusão. Na sequência os estudos foram submetidos à análise qualitativa, com foco em categorizar os dispositivos tecnológicos utilizados e discutir as vantagens, desafios e lacunas para futuras pesquisas na área.

## **2.2. Critérios de inclusão**

Foram considerados estudos publicados entre 2020 e 2024, redigidos em português, que abordassem a aplicação da IoT no monitoramento e gerenciamento da água na agricultura. Foram incluídos artigos científicos, e trabalhos acadêmicos que apresentassem dados empíricos ou discussões técnicas sobre sensores, atuadores, plataformas de controle ou estratégias de irrigação inteligente.

## **2.3. Critérios de exclusão**

Foram excluídos estudos duplicados, textos sem descrição metodológica, publicações em outros idiomas, revisões da literatura (para focar em estudos primários que compõem a base empírica da discussão), livros e pesquisas que não tratassem especificamente da gestão hídrica no contexto da agricultura de precisão.

## **2.4. Processo de Categorização e Análise Qualitativa dos Estudos**

Após a seleção final dos artigos, realizou-se uma análise qualitativa baseada nos procedimentos da Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2011). O processo ocorreu em três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento/interpretação dos resultados.

**Pré-análise** – Nesta etapa, os artigos incluídos foram lidos integralmente, identificando-se unidades de registro relacionadas às tecnologias utilizadas, tipos de sensores, métodos de irrigação, indicadores de eficiência hídrica, protocolos de comunicação e limitações relatadas. Essa leitura possibilitou a definição do corpus e a categorização.

**Exploração do material** – Foram atribuídos termos descritivos aos trechos relevantes, representando elementos recorrentes nos estudos: sensores, atuadores, protocolos, plataformas de processamento, economia de água, desafios técnicos, entre outros. Em seguida, os códigos foram organizados em categorias temáticas, conforme recomenda Bardin (2011). As categorias definidas foram: Objetivo do Estudo, Tecnologia IoT Empregada, Sensores/Dispositivos, Estratégias de Gestão Hídrica, Principais

Resultados, Benefícios Observados, Limitações/Desafios, Lacunas e Sugestões Futuras, Contexto (Tipo de Cultura, Localização).

**Tratamento dos resultados e interpretação** – As categorias foram analisadas comparativamente, identificando padrões, divergências, tendências tecnológicas e limitações presentes nos estudos. Essa etapa resultou na síntese interpretativa apresentada nas seções de resultados e considerações finais.

### 3. Resultados - Análise da Revisão Sistemática

Esta seção apresenta o panorama quantitativo e qualitativo do processo de revisão com os principais achados tecnológicos, discutindo as vantagens, limitações e lacunas identificadas nos artigos científicos.

#### 3.1. Execução da RSL e Mapeamento da Literatura

As buscas foram conduzidas nos portais, utilizando os termos de busca para capturar a interseção entre os três conceitos centrais do trabalho (IoT, Gestão Hídrica e Agricultura de Precisão). O processo de triagem e seleção dos artigos para a análise qualitativa final está sumarizado no **Quadro 1**.

**Quadro 1: Fluxograma Quantitativo do Processo de Seleção (Método PRISMA).**

Base de Dados	Registros Encontrados	Registros Após Filtragem
Scopus	410	275
Web of Science	312	218
SciELO	198	143
Periódicos CAPES	245	190
Google Scholar	80	48
<b>Total Geral</b>	<b>1.245</b>	<b>873</b> (após remoção de duplicatas)

**Fonte: Elaborado pelas autoras, 2025.**

A utilização do protocolo PRISMA não apenas assegurou a sistematização da revisão, mas também possibilitou maior transparência no processo de triagem e inclusão dos artigos. Essa escolha metodológica reforça o rigor científico do trabalho, uma vez que revisões sistemáticas orientadas pelo PRISMA têm sido amplamente reconhecidas por sua confiabilidade e replicabilidade (Page *et al.*, 2022). O cruzamento de bases foi estratégico, pois permitiu abarcar desde pesquisas aplicadas até discussões mais teóricas sobre arquitetura de sistemas e protocolos de comunicação.

#### 3.2. Mapeamento Tecnológico: Dispositivos, Protocolos e Aplicações

Os artigos analisados revelaram que os sistemas IoT na Agricultura de Precisão (AP) seguem um modelo arquitetônico comum, focado na coleta de dados, transmissão e tomada de decisão automatizada. A principal aplicação é a **irrigação de precisão por**

**demanda.** O **Quadro 2** sintetiza os componentes de hardware e os protocolos de comunicação mais prevalentes.

**Quadro 2: Componentes e Protocolos mais citados na Gestão Hídrica da AP.**

Categoria	Componentes / Protocolos Predominantes	Função na Gestão Hídrica
Sensores (Coleta)	Sensores de umidade do solo (capacitivos e TDR), Sensores climáticos (temperatura/umidade do ar) e pluviômetros.	Monitoramento da condição hídrica do solo e ambiental para determinar a necessidade de água.
Atuadores (Ação)	Válvulas Solenoides e Bombas de Irrigação (controladas via relé).	Execução da irrigação com taxa e duração variáveis, com base nos dados dos sensores.
Protocolos (Comunicação)	LoRaWAN e NB-IoT (Redes de Longo Alcance e Baixa Potência) e Wi-Fi/ZigBee (Curto Alcance).	Transmissão de dados em ambientes rurais extensos e remotos, superando falhas de cobertura 4G/5G.
Processamento (Edge)	Microcontroladores (Arduino, ESP32) ou Single Board Computers (Raspberry Pi).	Processamento local de dados (Edge Computing) para decisões rápidas e redução da latência da rede.

**Fonte: Elaborado pelas autoras, 2025.**

Além dos sensores de umidade e temperatura, alguns estudos destacaram o uso de drones equipados com câmeras multiespectrais e sensores de proximidade (espectrômetros de reflectância) capazes de detectar deficiências nutricionais e estresse hídrico das plantas (Bertollo, Castillo e Busca, 2022; Ayres, 2024). A integração com dispositivos de borda (*edge devices*), gateways e plataformas em nuvem viabilizou o processamento local de dados, reduzindo latência e permitindo respostas rápidas no manejo hídrico.

Em culturas perenes, como a viticultura, a aplicação de sensores IoT tem possibilitado não apenas o controle da irrigação, mas também o monitoramento do microclima nos parreirais, influenciando diretamente a qualidade da uva produzida (Farias *et al.*, 2020). Já em culturas anuais, como soja e milho, observa-se que a integração de drones e imagens multiespectrais possibilita identificar padrões de estresse hídrico antes mesmo que os sinais sejam perceptíveis a olho nu, permitindo intervenções antecipadas (Trova *et al.*, 2024). Além disso, a literatura também aponta avanços na utilização de modelos híbridos que integram IoT com algoritmos de inteligência artificial, capazes de prever demandas hídricas futuras a partir da análise de séries históricas de dados climáticos e de solo (Anchesqui, 2023). Esses exemplos demonstram que a IoT não se limita a soluções pontuais, mas pode compor ecossistemas completos de gestão agrícola digital.

**3.3. Vantagens, Desafios e Lacunas de Pesquisa**

A análise qualitativa da literatura permitiu consolidar as principais **vantagens** e **desafios** da aplicação da IoT na gestão hídrica, bem como identificar as **lacunas** para estudos futuros.

### Vantagens Consolidadas:

- **Aumento da Eficiência Hídrica:** Os estudos mostram reduções significativas no consumo de água (entre 20% e 50%) em comparação com métodos de irrigação tradicionais, devido à aplicação precisa e pontual.
- **Melhora da Produtividade e Saúde da Cultura:** O controle rigoroso do estresse hídrico eleva a qualidade da cultura e a produtividade por área cultivada.
- **Tomada de Decisão Baseada em Dados:** Possibilidade de ajustes em tempo real, eliminando o erro humano e o desperdício inerente à gestão empírica da irrigação.

### Desafios e Limitações:

- **Custo Inicial:** O alto investimento na infraestrutura de *hardware* (sensores, *gateways*) e *software* especializado é a principal barreira à adoção, especialmente para pequenos e médios produtores.
- **Conectividade e Topologia:** A necessidade de redes robustas e seguras em áreas rurais extensas (solucionada, em parte, pelo LoRaWAN, conforme Quadro 2).
- **Expertise e Manutenção:** A falta de mão de obra qualificada para instalar, manter e interpretar os grandes volumes de dados (Big Data) gerados pelos sistemas.

### Lacunas para Pesquisas Futuras:

- **Análise de Custo-Benefício de Longo Prazo:** Há escassez de estudos que apresentem *retorno sobre o investimento (ROI)* e viabilidade econômica dos sistemas IoT em diferentes culturas e escalas.
- **Segurança e Padronização:** Necessidade de protocolos e padrões de comunicação abertos para garantir a interoperabilidade e a segurança cibernética dos dados agrícolas.

Outro ponto frequentemente destacado pela literatura é a desigualdade no acesso às tecnologias IoT entre grandes corporações agrícolas e pequenos produtores. Enquanto grandes propriedades tendem a adotar sistemas avançados com relativa facilidade, agricultores familiares ainda enfrentam dificuldades em incorporar tais inovações (Trova *et al.*, 2024). Essa lacuna tecnológica pode aprofundar desigualdades no setor agrícola, tornando essencial a criação de políticas públicas de fomento e linhas de financiamento específicas para democratizar o acesso à Agricultura 4.0. A capacitação técnica é decisiva, exigindo programas de extensão rural que aproximem o conhecimento científico das práticas do campo (Anchesqui, 2023).

Estudos evidenciam os ganhos da irrigação inteligente, no entanto, persistem barreiras relevantes: os altos custos de implantação, a falta de mão de obra qualificada para interpretar os dados gerados e a limitação da infraestrutura rural, especialmente em conectividade e energia elétrica. Tais fatores dificultam a difusão da tecnologia, sobretudo para pequenos e médios produtores (Trova *et al.*, 2024).

### 3.4 Aspectos econômicos, Segurança e Interoperabilidade

A análise qualitativa da literatura, apesar de consolidar as vantagens da IoT na gestão hídrica, apontou áreas críticas que permanecem sub exploradas e merecem atenção da pesquisa futura. A principal lacuna identificada reside na **escassez de estudos** que apresentem uma análise robusta de **custo-benefício de longo prazo** e do **Retorno sobre o Investimento (ROI)** dos sistemas IoT em diferentes culturas e escalas (Trova *et al.*, 2024). Embora os estudos mostrem o aumento significativo na **Eficiência do Uso da Água (WUE)**, com reduções do consumo entre 20% e 50% em comparação com métodos tradicionais (Farias *et al.*, 2020), o **alto custo inicial** da infraestrutura de hardware e software é a principal barreira à adoção (Trova *et al.*, 2024).

Outro eixo de investigação urgente é a necessidade de **segurança e padronização** dos dados agrícolas. A implementação de ecossistemas IoT gera um vasto volume de dados, cuja integridade e segurança cibernética são essenciais (Trova *et al.*, 2024). A falta de **protocolos e padrões de comunicação abertos** dificulta a interoperabilidade entre os dispositivos de diferentes fabricantes, limitando a adoção de soluções integradas (Bertollo, Castillo e Busca, 2022; Ayres, 2024). Nesse sentido, a literatura aponta a inserção da tecnologia **blockchain** como um vetor promissor para garantir a rastreabilidade e a segurança dos dados, elevando a confiabilidade das cadeias produtivas e simplificando a certificação de práticas sustentáveis (Trova *et al.*, 2024).

Finalmente, o desenvolvimento de modelos que integrem a **IoT com algoritmos de Inteligência Artificial (IA)** para a criação de sistemas preditivos é uma lacuna fundamental. A aplicação de aprendizado de máquina à análise de séries históricas de dados climáticos e de solo pode viabilizar não apenas a previsão da demanda hídrica futura, mas também a **gestão integrada de fertilizantes e defensivos**, proporcionando ganhos ambientais adicionais (Anchesqui, 2023). Essa convergência tecnológica representa a próxima fronteira para otimizar o manejo agrícola e maximizar a eficiência de todos os insumos (Fiusa e Almeida, 2023).

### 3.5 Desafios da Difusão Tecnológica

A difusão da tecnologia IoT no campo não é uniforme. Um desafio frequentemente destacado pela literatura é a **desigualdade no acesso** a essas tecnologias entre grandes corporações agrícolas e pequenos e médios produtores. Enquanto grandes propriedades conseguem adotar sistemas avançados com relativa facilidade devido à disponibilidade de capital e *expertise* técnica, agricultores familiares enfrentam barreiras significativas para incorporar essas inovações (Trova *et al.*, 2024). Essa disparidade tecnológica é crítica, pois pode aprofundar desigualdades no setor agrícola (Farias *et al.*, 2020).

Para mitigar esse problema, torna-se essencial a criação de **políticas públicas de fomento** e linhas de financiamento específicas, visando democratizar o acesso à Agricultura 4.0. Em paralelo, a **capacitação técnica** emerge como um fator decisivo. A complexidade de instalar, manter e, sobretudo, interpretar o grande volume de dados gerados pelos sistemas IoT exige mão de obra qualificada. A falta dessa *expertise* impede que os produtores extraiam o máximo potencial dos sistemas (Trova *et al.*, 2024). A solução passa pela promoção de **programas de extensão rural** que aproximem o conhecimento científico das práticas cotidianas, garantindo que a inovação tecnológica se traduza em benefícios reais para todos os envolvidos na cadeia produtiva (Farias *et al.*, 2020). O sucesso da IoT como ferramenta de sustentabilidade hídrica depende não apenas da evolução tecnológica e da viabilidade econômica, mas

também da superação dessas barreiras sociais e educacionais para assegurar uma transição justa e inclusiva para a Agricultura de Precisão (Trova *et al.*, 2024).

#### 4. Considerações Finais

A adoção de tecnologias baseadas na Internet das Coisas (IoT) na agricultura de precisão, embora apresente resultados promissores em termos de eficiência e sustentabilidade, ainda enfrenta desafios relacionados aos custos de implementação. Os investimentos iniciais incluem a aquisição de sensores, gateways, conectividade e plataformas de monitoramento, cujos valores variam conforme a escala de aplicação e o tipo de tecnologia empregada. Estudos recentes indicam que sistemas baseados em **LoRaWAN** apresentam **custos médios 30% a 50% inferiores** aos sistemas que dependem de redes **4G/5G**, principalmente pela redução no consumo energético e na necessidade de infraestrutura de comunicação (Queiroz, 2023).

Além do custo inicial, o **custo de manutenção e calibração dos sensores** representa parcela significativa do investimento, especialmente em ambientes com alta umidade ou variações climáticas. Entretanto, trabalhos como o de Molin *et al.* (2022) mostram que a automação da irrigação por sensores de umidade pode gerar **economias de água de até 35%**, o que reduz o custo operacional e compensa o investimento em médio prazo. Em propriedades de médio porte, a integração de sensores de baixo custo com plataformas abertas tem se mostrado uma alternativa economicamente viável, com custo de implementação até **60% menor** do que sistemas comerciais proprietários (Ramos, 2024). Esses dados evidenciam que o custo de adoção da IoT está diretamente relacionado ao grau de automação desejado, à escala da lavoura e à infraestrutura de conectividade disponível. Dessa forma, ao considerar tanto os custos de aquisição quanto o potencial de retorno, verifica-se que o uso de sensores e protocolos de comunicação de baixo consumo energético representa uma estratégia eficiente e sustentável, especialmente em regiões agrícolas emergentes e de menor capacidade de investimento.

Com base na RSL, conclui-se que a IoT é, de fato, uma tecnologia crítica para a otimização da gestão de recursos hídricos na Agricultura de Precisão. A aplicação se consolida na implementação de sistemas de irrigação inteligentes, que utilizam sensores de umidade do solo e protocolos de comunicação de baixa potência e longo alcance (LoRaWAN e NB-IoT) para permitir a aplicação de água sob demanda. O principal achado do estudo confirma que tais sistemas resultam em um aumento significativo na eficiência do uso da água, alinhando a produtividade agrícola com os princípios da sustentabilidade hídrica. Os objetivos de pesquisa foram alcançados, com o mapeamento das tecnologias predominantes e a discussão de suas barreiras. Embora o custo inicial elevado e a necessidade de mão de obra especializada sejam os maiores desafios à adoção em larga escala, este estudo contribui ao fornecer um panorama sistematizado do arcabouço tecnológico. Para pesquisas futuras, sugere-se o desenvolvimento de análises de viabilidade econômica de longo prazo em diferentes contextos de cultivo e o estudo de modelos de segurança e padronização de dados.

Conclui-se que a IoT desempenha papel essencial não apenas na eficiência produtiva, mas também na sustentabilidade hídrica e na preservação ambiental, em consonância com a Agenda 2030 da ONU. A difusão dessa tecnologia depende de incentivos



econômicos, políticas públicas e capacitação técnica para ampliar seu acesso entre pequenos produtores.

Presume-se que as próximas etapas de evolução tecnológica deverão caminhar no sentido da integração entre IoT e Inteligência Artificial (IA), viabilizando sistemas preditivos de irrigação baseados em aprendizado de máquina e análise de Big Data. Essa convergência permitirá não apenas a otimização do uso da água, mas também a gestão integrada de fertilizantes e defensivos, com ganhos ambientais adicionais. Outro eixo promissor é a inserção da tecnologia *blockchain* para garantir rastreabilidade e segurança dos dados agrícolas, aumentando a confiabilidade de cadeias produtivas e facilitando a certificação de práticas sustentáveis.

Este trabalho aponta para direções futuras, como: (i) estudos de viabilidade econômica de longo prazo em diferentes culturas e regiões; (ii) desenvolvimento de protocolos de comunicação padronizados e seguros; e (iii) integração da IoT com inteligência artificial para prever padrões de consumo hídrico e otimizar o manejo agrícola.

Além dos ganhos tecnológicos e produtivos, a implementação da IoT na Agricultura de Precisão possui **implicações sociais e ambientais relevantes** graças aos custos decrescentes e a modularidade da IoT, que tornam sua aplicação cada vez mais acessível e estratégica. Ao permitir o uso mais eficiente da água e reduzir desperdícios, a tecnologia contribui para a preservação de recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental. Paralelamente, a democratização do acesso às soluções digitais e a capacitação técnica de pequenos e médios produtores são fundamentais para garantir que os benefícios da inovação tecnológica sejam amplamente distribuídos, reduzindo desigualdades no setor agrícola. Dessa forma, o sucesso da IoT depende não apenas da evolução tecnológica, mas também do desenvolvimento de políticas públicas, incentivos econômicos e programas de formação que promovam uma transição justa e inclusiva para uma agricultura mais sustentável.

## Referências

- ANCHESQUI, Lucas Dias. Desenvolvimento de um sistema inteligente de orientação baseado em IoT para agricultura de precisão. *Brazilian Journal of Development*, Vitória, 2023.
- AYRES, Vinnícius Okushiro. Sistema de irrigação automatizado de baixo custo. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2024.
- BERTOLLO, Mait; CASTILLO, Ricardo Abid; BUSCA, Matheus Dezidério. Internet das coisas (IoT) e novas dinâmicas da produção agrícola no campo brasileiro. *Confins*, v. 56, 2022.
- BRITO, Alexandre Pereira Brito. *Implementação da internet das coisas no processo de irrigação de hortaliças*. Universidade Federal da Bahia, 2023.
- CAMPOS, Nídia Glória da Silva. *SmarteGreen: um framework de Internet das Coisas para agricultura inteligente*. Fortaleza, 2020.
- FARIAS, Brendo Júnior Pereira et al. Sistema de irrigação 4.0: um estudo de caso na produção de mudas de uvas. *Blucher Engineering Proceedings*, São Paulo, 2020, p. 2842-2851.

- FERREIRA, João Lucas da Silva. Hidromonitora: plataforma de integração de metadados para a gestão de recursos hídricos do estado de Pernambuco. Pernambuco, 2024.
- FIUSA, Davi Gaede; ALMEIDA, Ronaldo de. Protótipo com tecnologia IoT para gestão hídrica em irrigações: um estudo de caso em uma plantação de açaí e café. *Revista Multidisciplinar da Universidade Anhembi Morumbi*, v. 20, n. 8, p. 3100-3122, 2023.
- GOMES, J. P. T.; INNOCENTINI, M. D. M. Análise socioambiental da utilização de Internet das Coisas (IoT) na gestão de recursos hídricos na agricultura familiar. *Instituto Federal do Sul de Minas Gerais – Campus Passos*, 2023.
- GOMES, Rafael et al. Agricultura de precisão integrando rede em malha IoT e computação em nuvem. *Revista de Ciência da Computação*, v. 6, n. 1, p. 5-12, 2024.
- JURGENSEN, Gustavo Pilon. *Monitoramento e automação de estufa agrícola*. Joinville, SC: Repositório Institucional UFSC, 2022.
- MOLIN, Jose Paulo et al. Agricultura de precisão e as contribuições digitais para a gestão localizada das lavouras. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. 5, 2020.
- PAGE, Matthew J et al. A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, [s. l.], vol. 31, no 2, 2022.
- PEDREIRA, Rodrigo Machado et al. Algoritmo inteligente para horta automatizada. *Instituto Mauá de Tecnologia – Iniciação Científica e Projetos do Centro de Pesquisa*, 2020.
- PINHEIRO, Romário de Mesquita et al. Inteligência artificial na agricultura com aplicabilidade no setor sementeiro. *Diversitas Journal*, v. 6, n. 3, p. 2984-2995, 2021.
- QUEIROZ, Bruna Marques de. *Uso de sensores no monitoramento do solo e gestão hídrica em áreas agrícolas*. Piracicaba, 2023.
- RAMOS, Leticia Torcheto. Internet das Coisas na Agricultura: um protótipo para monitoramento ambiental com sensores integrados. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, Araranguá, SC, 2024.
- STROPARO, Telma Regina; HRYCYNA, Heniuanne Micheli. Ecoinovação, inteligência artificial e Internet das Coisas na cadeia de valor do mel e da erva-mate: repercussões e perspectivas para a sustentabilidade. *Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia*, Diamantina (MG), 2024.
- TELLES Armando; KOLBE JÚNIOR, André. *Smart IoT: a revolução da internet das coisas para negócios inovadores*. Curitiba: Intersaberes, 1. ed., 2022.
- TROVA, Eduardo et al. IoT na agricultura: aprimoramento da gestão hídrica através de monitoramento em tempo real. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia (RECIT)*, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2024.
- VELOSO, Erik Miguel Carvalho. *Agricultura de precisão: sistema para monitoramento remoto de lavouras*. Universidade Federal de Ouro Preto, 2023.