

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA AGRICULTURA: IMPACTOS DA INTERNET DAS COISAS (IOT) NA EFICIÊNCIA PRODUTIVA E SUSTENTABILIDADE

Telma Regina Stroparo¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Irati, Brasil
(telma@unicentro.br)

Resumo: A Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) está revolucionando a agricultura ao conectar sensores e dispositivos que monitoram e gerenciam condições de cultivo em tempo real. Este artigo investiga como a IoT aumenta a eficiência produtiva e a sustentabilidade, otimizando o uso de recursos como água e fertilizantes e promovendo práticas agrícolas precisas. Por meio de revisão integrativa de literatura, o artigo aponta, dentre os resultados, melhorias significativas na produtividade e redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Agricultura Inteligente, Sustentabilidade, Eficiência Produtiva.

INTRODUÇÃO

O artigo explora os impactos da IoT na eficiência produtiva e na sustentabilidade agrícola, destacando como a tecnologia está sendo utilizada para otimizar o uso de recursos, aumentar a produtividade e promover práticas agrícolas sustentáveis (Gardezi *et al.*, 2024; Kumar *et al.*, 2024; Shahab *et al.*, 2024).

Agricultura inteligente é o conceito de fazer agricultura de forma inovadora, utilizando as tecnologias mais recentes para aumentar a quantidade e qualidade dos produtos agrícolas. Por outro lado, o conceito de IoT aplicado à agricultura pode levar a uma gestão agrícola avançada, reduzindo o desperdício e aumentando a produção agrícola com impacto ambiental mínimo (Khanna; Kaur, 2019; Kumar *et al.*, 2024). Com o aumento da demanda por alimentos e a necessidade de práticas agrícolas mais ecológicas, a IoT oferece soluções inovadoras que não apenas melhoram a eficiência operacional, mas também contribuem para a preservação ambiental e a resiliência dos sistemas agrícolas. (Makarius *et al.*, 2020; Shahab *et al.*, 2024).

Busca-se, neste estudo, aplicações da IoT no campo, notadamente às relacionadas a práticas sustentáveis. Além disso, serão discutidas as implicações da adoção dessa tecnologia em termos de custos, infraestrutura e capacitação necessária para maximizar seu potencial.

A integração da IoT na agricultura representa uma oportunidade única para transformar o setor, tornando-o mais adaptável às mudanças climáticas e às pressões econômicas, ao mesmo tempo em que promove um desenvolvimento sustentável e contribui para o

alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) à medida que contribui para a eficiência produtiva, para preservação ambiental e sustentabilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão integrativa de literatura, que permite a síntese de múltiplos estudos publicados para fornecer uma compreensão abrangente sobre a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura, com foco principalmente nos aspectos sustentáveis e eficiência produtiva.

As questões principais que guiam a revisão integrativa são: Quais são os aspectos sustentáveis da aplicação da IoT na agricultura? e Qual a viabilidade econômica da utilização de dispositivos a IoT na agricultura? Para tanto, realizou-se buscas por artigos científicos nas bases *Web of Science*, *Scopus* e *ScienceDirect*. Foram utilizados os seguintes descritores: "Internet of Things" OR "IoT"; "Agriculture" OR "Farming"; "Sustainability" OR "Sustainable"; "Efficiency" OR "Productivity". Utilizou-se ainda a seguinte composição: "Internet of Things" AND Agriculture AND Sustainability OR Efficiency

Foram adotados os seguintes critérios: Foram incluídos artigos publicados em periódicos revisados por pares; estudos que abordam a aplicação da IoT na agricultura; publicações em inglês ou português; estudos atuais e/ou clássicos aqui entendidos aqueles com número significativo de citações acadêmicas para garantir a atualidade dos dados e textos relacionados a sustentabilidade e/ou eficiência produtiva. Exclui-se do portfólio artigos que não abordavam diretamente a sustentabilidade ou a eficiência produtiva, publicações duplicadas e estudos com metodologia insuficiente ou dados inconclusivos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A IoT é um novo paradigma que vem ganhando espaço rapidamente no cenário das modernas telecomunicações sem fio (Atzori; Iera; Morabito, 2010). A ideia básica deste conceito é a presença generalizada ao nosso redor de uma variedade de coisas ou objetos capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar objetivos comuns. A IoT tem um grande potencial de impacto social, ambiental e econômico para a sua adaptação. Os conceitos de IoT foram adotados em uma variedade de domínios que vão desde Mobilidade, Rede Inteligente, Casas/Edifícios Inteligentes, Segurança Pública e Monitoramento Ambiental, Medicina e Saúde, Processamento Industrial, Agricultura e Criação e Vida Independente, são alguns deles (Khanna; Kaur, 2019).

Neste trabalho o foco são as aplicações na agricultura sustentável e, portanto, serão analisados a seguir artigos e resultados direcionados para a área. Parte-se da premissa que agricultura é uma fonte essencial de sobrevivência para as nações e também responsável por parte do crescimento econômico (Priya; Ramesh, 2020).

A utilização da IoT na agricultura inteligente é baseada no uso de diferentes tecnologias de automação, captura de dados, transmissão e processamento de dados e tomada de decisão. Uma das ferramentas de coleta e transmissão de dados mais comuns neste setor é a rede de sensores (Ait Issad; Aoudjit; Rodrigues, 2019; Makarius *et al.*, 2020)

Dentre as aplicações da IoT, destacam-se os sensores que são implantados visando coletar vários tipos de dados (temperatura do solo, umidade do solo, umidade e verdor das folhas, radiação solar, direção do vento, nível de precipitação) em tempo real. (Ait Issad; Aoudjit; Rodrigues, 2019; Gubbi *et al.*, 2013; Shahab *et al.*, 2024)

Busca-se a eficiência produtiva e sustentabilidade aqui compreendida como ações que propiciam a redução e/ou uso otimizado de recursos (água, energia, fertilizantes), a melhoria na eficiência produtiva (aumento de rendimento, otimização de processos); impactos ambientais positivos e práticas agrícolas sustentáveis.

A IoT facilita a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como a rotação de culturas e a agricultura de precisão. Sensores e dispositivos IoT fornecem dados em tempo real que permitem aos agricultores monitorar a saúde das plantas e do solo, promovendo intervenções mais ecológicas e evitando o uso excessivo de produtos químicos (Gubbi *et al.*, 2013).

Os artigos analisados destacam a significativa transformação na agricultura proporcionada pela adoção da IoT. Pesquisa realizada por (Morchid *et al.*, 2024) cita como exemplos de resultados positivos do IoT, para efeitos de agricultura sustentável, os sistemas de irrigação inteligente que mostram-se extremamente eficazes na redução do desperdício de água, otimizando os horários de rega e automatizando o processo com base em sensores de umidade e condições meteorológicas, permitindo o uso mais eficiente dos recursos hídricos, essencial para a sustentabilidade agrícola.

Outro ponto levantado por (Morchid *et al.*, 2024) é o monitoramento preciso de culturas e solos, por meio de sensores que medem temperatura, pH e umidade, possibilitando uma tomada de decisão mais criteriosa para o manejo das culturas, prevenindo estresses hídricos e térmicos que podem comprometer a produtividade. Em estufas inteligentes, o controle automatizado de temperatura e umidade garantiu a manutenção de condições ambientais ideais, resultando em melhorias significativas na produtividade e qualidade dos produtos agrícolas. Tais resultados também são apontados por (Shahab *et al.*, 2024b)

No entanto, a adoção da IoT na agricultura também enfrenta desafios significativos como, por exemplo, os custos iniciais de implementação que são elevados, representando um obstáculo para pequenos produtores e impossibilitando totalmente seu uso. Apesar disso, a longo prazo, a eficiência operacional e a redução de desperdícios proporcionadas pela IoT podem levar a uma diminuição nos custos totais. (Khanna; Kaur, 2019; Morchid *et al.*, 2024; Shahab *et al.*, 2024b).

A discussão econômica a respeito da adoção de tais tecnologias é imprescindível pois demandam de significativos aportes de recursos. Portanto, a decisão sobre quais tecnologias serão adotadas/adquiridas exige um planejamento contábil que englobe aspectos como ociosidade, utilização, aplicabilidade, assistência técnica, manutenção, obsolescência e vida útil, etc.

Dentro deste contexto, outro desafio crítico é a necessidade de uma infraestrutura robusta de conectividade, uma vez que muitas áreas rurais ainda possuem acesso precário à internet. Tratando especificamente da realidade brasileira, estudo publicado pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br) e realizado pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), revela que 81% da população brasileira com mais de 10 anos usou internet recentemente, destacando o aumento do

acesso em áreas rurais. Entre 2019 e 2021, a conectividade rural subiu de 51% para 71%. O uso exclusivo de celulares para acessar a internet é prevalente, especialmente em áreas rurais (83%). A cobertura rural enfrenta desafios econômicos e geográficos, mas tecnologias sem fio e comunicação via satélite oferecem soluções promissoras. A competição no setor e novas tecnologias, como o 5G, são cruciais para melhorar os serviços e reduzir custos. (Cetic, 2023). Segundo a Secretaria Executiva da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), aproximadamente 67% das propriedades agrícolas do Brasil fazem uso de algum tipo de tecnologia.

Análises envolvendo custo-benefício (ACB) são frequentemente utilizadas para avaliar políticas públicas, notadamente para análise de projetos envolvendo recursos hídricos, a ACB consiste na análise da importância econômica e financeira de um determinado projeto, por meio da utilização de modelos quantitativos (Stroparo; Floriani, 2022). A integração de sustentabilidade e eficiência produtiva através da IoT não são apenas ambientalmente benéficas, mas também economicamente viáveis a longo prazo (Morchid *et al.*, 2024; Shahab *et al.*, 2024)

Após as análises de viabilidade econômica e opções conscientes quanto às tecnologias adaptáveis segundo as especificidades locais, outros aspectos precisam ser considerados como, por exemplo, a capacitação dos usuários. Desta forma, para maximizar o potencial dessas tecnologias, é fundamental investir em capacitação, garantindo que os agricultores estejam treinados para operar e manter os dispositivos IoT. A colaboração com instituições de pesquisa e empresas de tecnologia também é essencial para a transferência de conhecimento e habilidades, permitindo que os agricultores aproveitem ao máximo as vantagens da transformação digital na agricultura. (Atzori; Iera; Morabito, 2010; Gubbi *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2024; Morchid *et al.*, 2024; Shahab *et al.*, 2024)

A eficiência produtiva em agriculturas sustentáveis é alcançada por meio da integração de tecnologias IoT que permitem um monitoramento contínuo e detalhado das condições do solo, do clima e das culturas.

Como exemplo de tecnologias usadas tem-se os sensores de solo que medem parâmetros críticos como umidade, temperatura e níveis de nutrientes, fornecendo dados em tempo real que ajudam os agricultores a tomar decisões informadas sobre irrigação e fertilização. Neste viés, os sistemas de irrigação inteligente, baseados em dados de sensores e previsões meteorológicas também são exemplos de IoT que podem ajustar automaticamente os horários e volumes de água aplicados, reduzindo o desperdício e garantindo que as plantas recebam apenas a quantidade necessária de água. Isso não só economiza recursos hídricos, mas também melhora a saúde das plantas e a produtividade das colheitas (Atzori; Iera; Morabito, 2010; Morchid *et al.*, 2024)

No contexto da agricultura sustentável, a IoT tem sido utilizada para promover práticas agrícolas que respeitam os ecossistemas naturais e buscam a sustentabilidade a longo prazo. A agroecologia, por exemplo, pode se beneficiar sobremaneira com a utilização de ferramentas que promovam a salvaguarda da biodiversidade, o uso eficiente dos recursos e a sustentabilidade ecológica. Com a IoT, os agricultores agroecológicos podem monitorar a biodiversidade no campo, observar padrões de infestação de pragas e doenças, e aplicar tratamentos biológicos de maneira precisa e oportuna. Isso minimiza o uso de produtos químicos, preserva a fauna benéfica, promove a salvaguarda da biodiversidade e a autossuficiência econômica das pequenas glebas, além de contribuir

para a melhora da resiliência do agroecossistema (Bissadu; Sonko; Hossain, 2024; Fosso Wamba *et al.*, 2024; Stroparo, 2023)

Desta forma, a IoT ao melhorar a eficiência e reduzir desperdícios, contribui para a viabilidade econômica das pequenas propriedades rurais, ao mesmo tempo em que minimiza o impacto ambiental. Para superar as barreiras de custos e assistência técnica especializada é essencial promover políticas públicas que incentivem a inclusão digital e ofereçam suporte financeiro e técnico aos agricultores.

Neste viés, a integração de tecnologias na agricultura é essencial para tornar a agricultura mais sustentável. A IoT é uma forma de ecoinovação que permite a adoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Por exemplo, o uso de drones equipados com sensores para monitoramento de culturas pode identificar áreas que necessitam de intervenção, permitindo aplicações direcionadas de fertilizantes. Isso reduz o uso excessivo de insumos químicos, protege os recursos naturais e melhora a qualidade do solo e da água (Gubbi *et al.*, 2013)

CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo identificar as aplicações da IoT no campo, notadamente às relacionadas a práticas sustentáveis bem como as implicações da adoção dessa tecnologia em termos de custos, infraestrutura e capacitação necessária para maximizar seu potencial.

Dentre os achados da pesquisa destacam-se a capacidade da IoT de conectar dispositivos e sistemas, possibilitando a coleta e troca de dados em tempo real, bem como avanços significativos na gestão de recursos e na tomada de decisões. Ademais, os resultados da pesquisa apontam, de forma recorrente, para a utilização de tecnologias como IoT sendo tratadas como potenciais para aumentar a produtividade, promover práticas agrícolas mais sustentáveis e contribuir para a autossuficiência econômica de pequenas propriedades rurais tidas como essenciais para atender à crescente demanda global por alimentos e a soberania alimentar das nações.

Neste viés, os resultados desta revisão integrativa destacam os benefícios significativos da IoT para a agricultura, tanto em termos de sustentabilidade quanto de eficiência produtiva. Drones e satélites equipados com sensores de IoT são exemplos de tecnologia usadas para mapear áreas de cultivo, identificar pragas e doenças em estágios iniciais, permitindo intervenções rápidas e eficazes.

Outro aspecto importante advindo com a análise realizada é o aspecto da sustentabilidade ambiental proporcionada pela IoT na agricultura. A precisão no uso de água e insumos agrícolas não só aumenta a produtividade, mas também minimiza o impacto ambiental. Portanto, a agricultura de precisão, viabilizada pela IoT, promove a conservação de recursos naturais, reduzindo a poluição e promovendo práticas agrícolas mais responsáveis.

Quanto aos aspectos limitantes e desafiadores citam-se a segurança dos dados e a privacidade das informações coletadas como preocupações centrais, exigindo a implementação de medidas robustas para proteger contra ciberataques. Outros aspectos

limitantes é a dificuldade de acesso à internet de boa qualidade no campo, os custos de implementação, a assistência técnica e a rápida obsolescência dos recursos.

Mesmo com aspectos limitantes a transformação digital na agricultura, por meio da IoT, representa uma evolução significativa com impactos profundos na eficiência produtiva e na sustentabilidade. Sugere-se que futuras pesquisas devem focar em estratégias para superar as barreiras de implementação e maximizar os benefícios da IoT na agricultura

REFERÊNCIAS

AIT ISSAD, H.; AOUDJIT, R.; RODRIGUES, J. J. P. C. A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 511–525, 2019.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, [s. l.], v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

BISSADU, K. D.; SONKO, S.; HOSSAIN, G. Society 5.0 enabled agriculture: Drivers, enabling technologies, architectures, opportunities, and challenges. **Information Processing in Agriculture**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317324000234>. Acesso em: 18 abr. 2024.

Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br). Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no Brasil. Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br). 2023. Disponível em: http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/tic_domicilios_2022.pdf

FOSSO WAMBA, S. *et al.* Artificial Intelligence Capability and Firm Performance: A Sustainable Development Perspective by the Mediating Role of Data-Driven Culture. **Information Systems Frontiers**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10796-023-10460-z>.

GARDEZI, M. *et al.* The role of living labs in cultivating inclusive and responsible innovation in precision agriculture. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 216, p. 103908, 2024.

GUBBI, J. *et al.* Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 29, n. 7, Including Special sections: Cyber-enabled Distributed Computing for Ubiquitous Cloud and Network Services & Cloud Computing and Scientific Applications — Big Data, Scalable Analytics, and Beyond, p. 1645–1660, 2013.

KHANNA, A.; KAUR, S. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 157, p. 218–231, 2019.

KUMAR, V. *et al.* A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. **Smart Agricultural Technology**, [s. l.], v. 8, p. 100487, 2024a.

MAKARIUS, E. E. *et al.* Rising with the machines: A sociotechnical framework for bringing artificial intelligence into the organization. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 120, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.045>.

MORCHID, A. *et al.* Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. **Ain Shams Engineering Journal**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 102509, 2024.

PRIYA, R.; RAMESH, D. ML based sustainable precision agriculture: A future generation perspective. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, [s. l.], v. 28, p. 100439, 2020.

SHAHAB, H. *et al.* IoT-based agriculture management techniques for sustainable farming: A comprehensive review. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 220, p. 108851, 2024a.

STROPARO, T. R. Território, agroecologia e soberania alimentar: significações e repercussões sob a égide decolonial. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, [s. l.], v. 13, n. 39, p. 462–472, 2023.

STROPARO, T. R.; FLORIANI, N..**Certificações Agroecológicas: Análise Custo-Benefício, Competitividade E Valor Agregado..** In: Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Anais...Diamantina(MG) Online. 2022