

Agricultura de Precisão com Redes Sem Fio

A agricultura enfrenta, historicamente, o desafio de equilibrar produtividade com sustentabilidade. O aumento da demanda mundial por alimentos, aliado às mudanças climáticas e à escassez de recursos hídricos, torna cada vez mais necessária a adoção de práticas inovadoras que melhorem a eficiência e reduzam impactos ambientais. Nesse contexto, a Agricultura de Precisão (AP) surge como uma estratégia capaz de transformar o setor, utilizando tecnologias avançadas para monitorar, analisar e gerenciar variáveis do ambiente agrícola de maneira detalhada.

A AP baseia-se no uso de redes de sensores sem fio (WSN) e de dispositivos da Internet das Coisas (IoT), que coletam dados em tempo real sobre fatores como temperatura, umidade, composição do solo e presença de pragas. Esses dados possibilitam ao agricultor tomar decisões embasadas em evidências, reduzindo desperdícios de insumos (água, fertilizantes e defensivos), otimizando a produção e aumentando a eficiência operacional. O crescimento exponencial da IoT reforça a importância dessa aplicação no meio rural. Em 2023, o número de dispositivos conectados no mundo chegou a 16,6 bilhões, e a previsão é de alcançar 18,8 bilhões até o final de 2024, mesmo diante de restrições econômicas globais. Uma parcela significativa desses dispositivos está voltada a aplicações críticas, como monitoramento ambiental e industrial, com destaque para o setor agrícola, em que a conectividade em áreas remotas é um fator determinante para ampliar a competitividade.

Apesar dos avanços, a implementação em zonas rurais apresenta desafios. Um dos principais é a limitação energética: sensores alimentados por baterias exigem substituição periódica, o que gera custos elevados de manutenção, ineficiência e impactos ambientais pelo descarte inadequado. Nesse sentido, tecnologias como a Transferência de Energia sem Fio (WET – Wireless Energy Transfer) tornam-se essenciais, pois eliminam a necessidade de troca frequente de baterias, prolongam a vida útil dos dispositivos e viabilizam o monitoramento contínuo em locais de difícil acesso. Assim, a agricultura de precisão, apoiada por WSN, IoT e WET, representa a convergência entre inovação tecnológica e sustentabilidade, possibilitando não apenas ganhos econômicos e de produtividade, mas também avanços na gestão responsável dos recursos naturais.

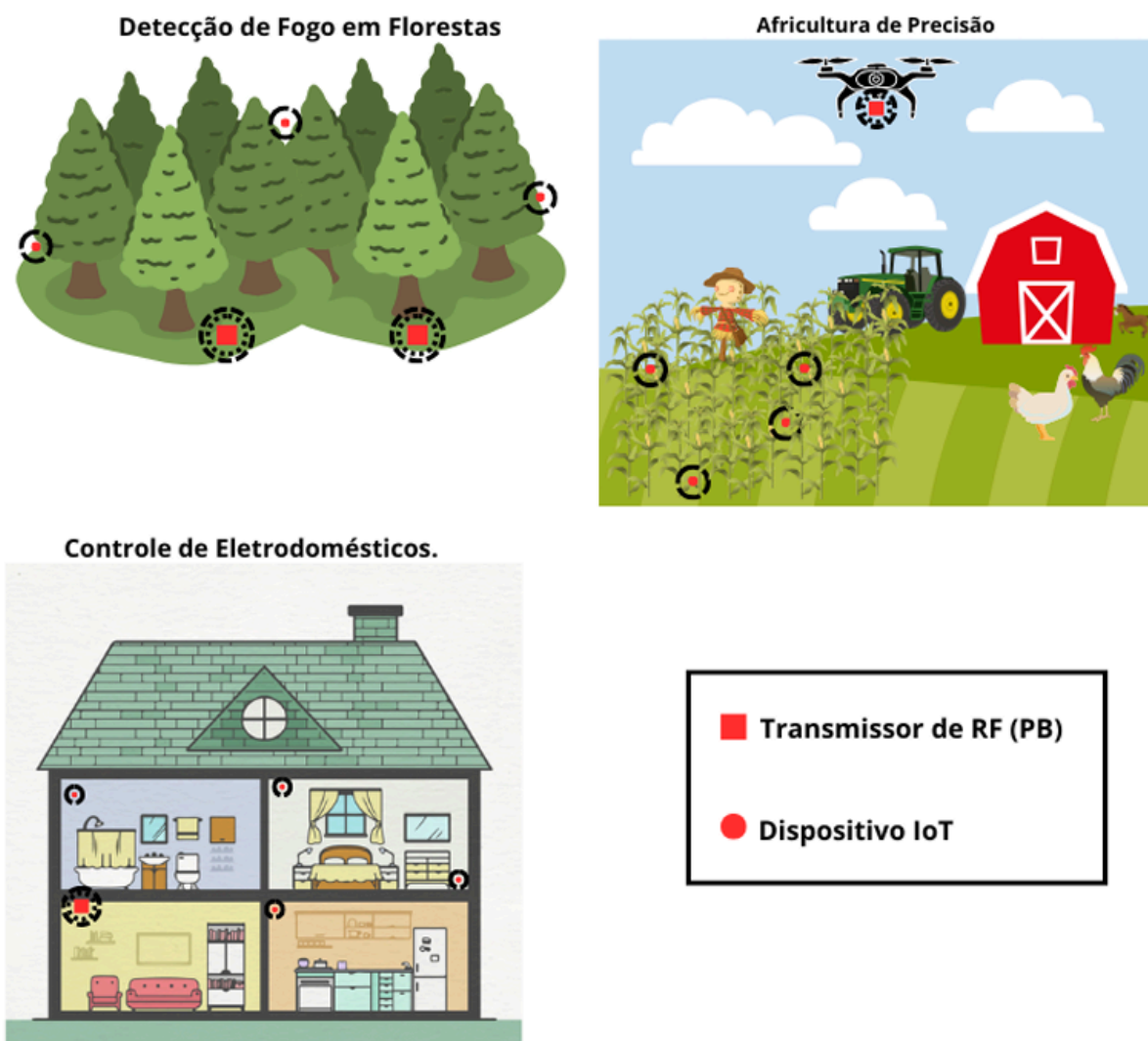


Fig.1. Exemplo de Aplicações WET.

Redes Sem Fio e Transferência de Energia

Para viabilizar o monitoramento contínuo em áreas rurais, são empregadas redes sem fio de sensores (WSN) compostas por diversos nós capazes de coletar, processar e transmitir informações ambientais. Esses sensores podem ser posicionados em pontos estratégicos da plantação, de forma estruturada (pré-planejada) ou ad hoc (distribuição aleatória), criando uma malha cooperativa que encaminha os dados até uma estação central ou servidor em nuvem. Essa arquitetura descentralizada é especialmente vantajosa em ambientes rurais, onde muitas vezes não existe infraestrutura de telecomunicação tradicional.

Na prática, diferentes protocolos de comunicação podem ser empregados, como ZigBee, LoRaWAN, Wi-Fi Rural e até redes celulares 4G/5G, dependendo da área de cobertura e do consumo energético aceitável. O LoRa, por exemplo, permite comunicação de baixo consumo em longas distâncias, sendo bastante utilizado em

monitoramento de lavouras extensivas, enquanto o ZigBee é indicado para cenários de alta densidade de sensores em áreas menores.

Um dos grandes desafios para essas redes é o fornecimento de energia. Tradicionalmente, os dispositivos são alimentados por baterias, cuja substituição periódica implica custos logísticos e riscos ambientais pelo descarte inadequado. Para superar essa limitação, a Transferência de Energia sem Fio (WET) é explorada como alternativa. Essa tecnologia elimina a necessidade de manutenção frequente, prolonga a vida útil dos dispositivos e garante a continuidade do monitoramento.

Em especial, destaca-se o uso de drones equipados com Power Beacons (PBs), capazes de emitir energia em radiofrequência e recarregar sensores em locais remotos. As rotas desses drones podem ser otimizadas por algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais LSTM, garantindo maior eficiência energética e cobrindo grandes áreas em pouco tempo. Essa abordagem já foi validada em estudos que mostraram aumento de até 99 vezes na energia coletada em comparação a métodos tradicionais de posicionamento aleatório de estações.

Além de resolver a limitação energética, o uso de drones amplia a escalabilidade do sistema, permitindo adaptá-lo a diferentes tamanhos de propriedades, desde pequenas fazendas familiares até grandes áreas de monocultura.

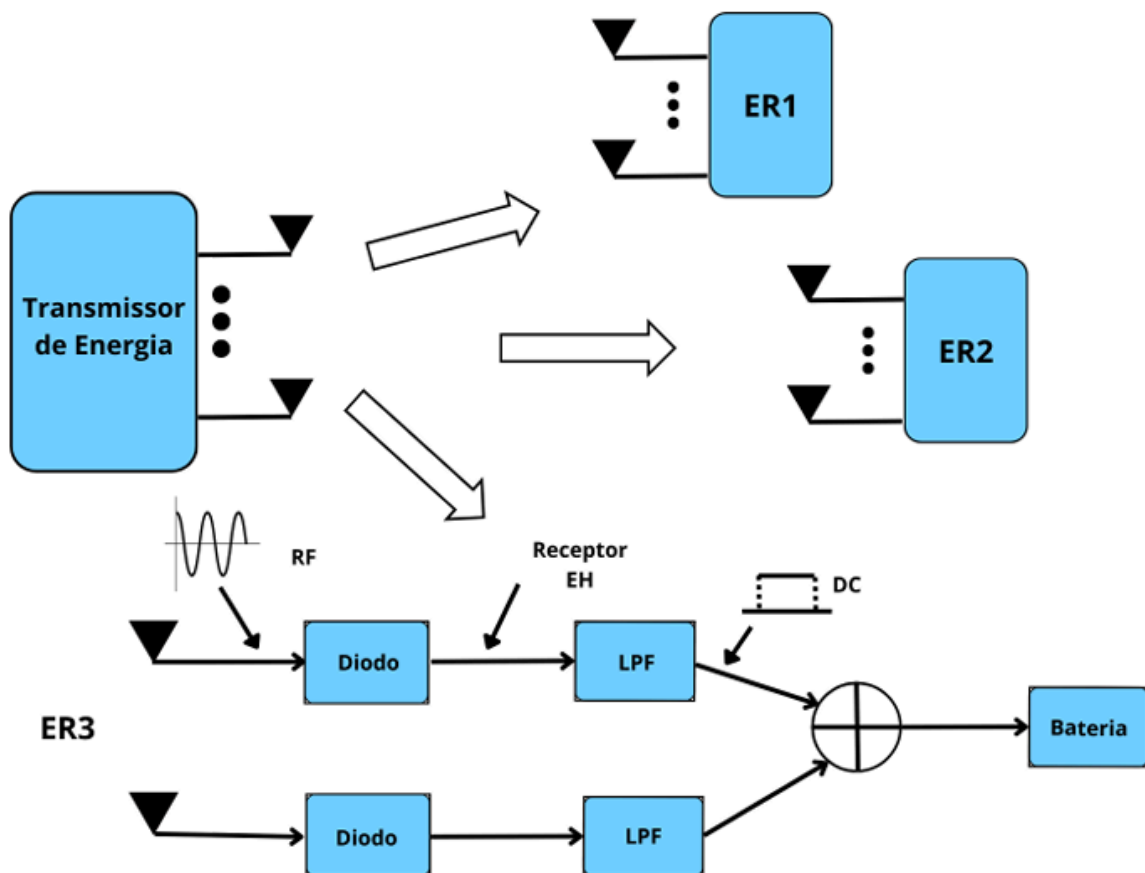


Fig.2. Sistema WET e estrutura do receptor de energia

Sensores Utilizados na Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão depende fortemente da coleta de dados em tempo real, possibilitada por sensores inteligentes distribuídos ao longo da área cultivada. Cada tipo de sensor desempenha um papel específico, oferecendo informações que permitem ao agricultor tomar decisões mais assertivas e automatizar processos produtivos.

1. Sensores de umidade do solo

Essenciais para orientar o manejo da irrigação, esses sensores medem o teor de água disponível no solo. Com isso, permitem determinar com precisão quando e quanto irrigar, evitando tanto o excesso (que causa lixiviação de nutrientes e proliferação de fungos) quanto a falta de água (que compromete o desenvolvimento da planta). Além de aumentar a produtividade, contribuem para a economia de recursos hídricos e uso racional da irrigação.

2. Sensores de temperatura e umidade do ar

Responsáveis por caracterizar o microclima agrícola, esses sensores coletam dados que influenciam diretamente no ciclo das plantas e na proliferação de pragas. A partir dessas informações, é possível prever riscos de geada, ondas de calor e condições propícias a doenças, permitindo o planejamento antecipado de medidas de controle.

3. Sensores ópticos e espectrais

Utilizam câmeras multiespectrais ou hiperespectrais para analisar a luz refletida pelas plantas. Essa análise permite calcular índices como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que indica vigor vegetativo e identifica estresse hídrico ou nutricional. Além disso, possibilita a detecção precoce de pragas e doenças, favorecendo ações preventivas e reduzindo perdas de produtividade.

4. Sensores de pH e nutrientes do solo

Monitoram a acidez e a presença de macro e micronutrientes no solo, fatores determinantes para a saúde da lavoura. Com esses dados, é possível ajustar a adubação de maneira localizada e precisa, evitando desperdícios de insumos e reduzindo o impacto ambiental. Isso assegura um uso mais sustentável de fertilizantes e melhora a qualidade da produção.

5. Sensores de movimento e câmeras

Aplicados para o rastreamento de animais e a segurança da propriedade, esses sensores monitoram cercas, reservatórios e depósitos de insumos. Podem emitir alertas em caso de invasão de fauna silvestre ou atividades suspeitas, além de registrar imagens de alta resolução que auxiliam na gestão da fazenda e na proteção contra furtos.

Aplicações Práticas e Impacto

A combinação entre redes de sensores sem fio (WSN), Internet das Coisas (IoT) e técnicas de Transferência de Energia sem Fio (WET) já é realidade em diversas regiões do mundo, mostrando o potencial transformador da agricultura de precisão. No Brasil, por exemplo, sistemas de irrigação automatizada em plantações de soja e café no Cerrado utilizam sensores distribuídos no solo para medir a umidade e acionar a irrigação de forma precisa, evitando desperdício de água e aumentando a eficiência hídrica. Na Europa, especialmente em vinícolas de Portugal e França, redes de sensores monitoram parâmetros ambientais para prever a ocorrência de doenças fúngicas e otimizar o uso da irrigação, contribuindo para a qualidade das uvas e a redução do uso de defensivos. Já em regiões da África, sensores alimentados por energia solar e conectados a redes LoRa oferecem uma alternativa viável para pequenos produtores no controle hídrico em áreas marcadas por escassez de água, promovendo maior resiliência frente a condições climáticas adversas.

Outro exemplo relevante é o monitoramento pecuário, em que colares equipados com GPS e sensores de atividade permitem acompanhar a movimentação e a saúde do gado em tempo real, auxiliando na detecção precoce de doenças, na prevenção de perdas e no aumento da produtividade.

Essas aplicações demonstram como a agricultura de precisão tem potencial para transformar a realidade do campo, tornando o setor mais eficiente, sustentável e inovador. Além de reduzir desperdícios e aumentar a produção, essas tecnologias fortalecem a capacidade de adaptação do agricultor frente aos desafios ambientais e às demandas globais por alimentos.

Conclusão

A aplicação da Agricultura de Precisão apoiada por redes sem fio de sensores representa um marco na modernização do setor agrícola. A integração entre WSN, IoT e técnicas de Transferência de Energia sem Fio (WET) viabiliza o monitoramento contínuo e em tempo real, assegurando maior eficiência no uso de recursos naturais, aumento da produtividade e redução de impactos ambientais.

Apesar dos avanços, alguns desafios ainda precisam ser superados. Entre eles estão os custos iniciais de implementação, a necessidade de capacitação dos agricultores para lidar com ferramentas tecnológicas e a limitação da conectividade em áreas rurais com infraestrutura precária. Além disso, a durabilidade dos equipamentos e a manutenção de sistemas complexos podem representar barreiras à adoção em larga escala.

No entanto, as perspectivas futuras são promissoras. Com a chegada do 6G, espera-se uma conectividade mais estável e de baixa latência, o que permitirá a integração massiva de dispositivos IoT em ambientes agrícolas. Tecnologias emergentes, como Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS) e algoritmos avançados de inteligência artificial, tendem a aprimorar ainda mais a eficiência energética, a precisão das previsões e a escalabilidade dos sistemas. Assim, a Agricultura de Precisão se

consolida como uma estratégia essencial para responder às demandas globais por alimentos de maneira sustentável, resiliente e inovadora, pavimentando o caminho para uma agricultura cada vez mais inteligente e autônoma.

Referências

BI, S.; HO, C. K.; ZHANG, R. Wireless powered communication: opportunities and challenges. *IEEE Communications Magazine*, v. 53, n. 4, p. 117–125, 2015. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7081084.

CHITTOOR, P.; BHARATIRAJA, C.; MIHET-POPA, L. A Review on UAV Wireless Charging: Fundamentals, Applications, Charging Techniques and Standards. *IEEE Access*, p. 1–1, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3077041.

LÓPEZ, O. L. A. et al. Massive Wireless Energy Transfer: Enabling Sustainable IoT Toward 6G Era. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 8, n. 11, p. 8816–8820, 2021. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3050612.

OJHA, T. et al. Wireless power transfer with unmanned aerial vehicles: State of the art and open challenges. *Pervasive and Mobile Computing*, v. 93, p. 101820, 2023. DOI: 10.1016/j.pmcj.2023.101820.

ZENG, Y.; ZHANG, R. Optimized Training Design for Wireless Energy Transfer. *IEEE Transactions on Communications*, v. 63, n. 2, p. 536–550, 2015. DOI: 10.1109/TCOMM.2014.2385077.

A. C. S. Fernandes, D. M. B. Faria, J. P. de Souza, R. M. Pereira, and V. D. P. Souto, “Otimização de Rota de Drones baseada em Redes LSTM para Carregamento de Dispositivos IoT,” Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), Santa Rita do Sapucaí, Brazil, 2024.