# GESTÃO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA NO PLANTIO DE SOJA NO MARANHÃO

**Alisson Emanuel Diniz Santos[1] e Márcio Mendes Cerqueira[2]**

*[1] Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,*
*alisson.emanuel@discente.ufma.br*
*[2] Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,*
*cerqueira.marcio@ufma.br*

Resumo: As pesquisas recentes sobre práticas agrícolas sustentáveis têm se concentrado em tecnologias que maximizem o uso dos recursos naturais, especialmente a água, em áreas onde esse recurso é escasso. No cultivo da soja, um dos maiores desafios é a irrigação eficiente, já que a necessidade de água varia conforme o ciclo de crescimento da planta. Tecnologias como sensores de umidade do solo e sistemas de irrigação automatizada têm se mostrado eficazes na diminuição do consumo de água, aplicando-a de forma precisa de acordo com as exigências reais das plantas. Além disso, a utilização de programas que realizam a análise visual das plantas, identificando sinais de estresse hídrico através da coloração das folhas, tem auxiliado no ajuste dinâmico da irrigação conforme o estágio de desenvolvimento da soja. Esse sistema integrado de monitoramento e irrigação não apenas assegura uma gestão mais eficiente da água, mas também contribui para o aumento da produtividade, garantindo que as plantas recebam a quantidade exata de água em cada fase do seu crescimento, sem desperdícios, e minimizando o impacto ambiental causado pela irrigação excessiva.

Palavras-chave: Irrigação Automática e Inteligente; Práticas Agrícolas Sustentáveis; Monitoramento Visual da Soja.

# SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT IN SOYBEAN CULTIVATION IN MARANHÃO

**Alisson Emanuel Diniz Santos[1] e Márcio Mendes Cerqueira[2]**

[1] *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,*
*alisson.emanuel@discente.ufma.br*
[2] *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,*
*cerqueira.marcio@ufma.br*

Summary: Recent research on sustainable agricultural practices has focused on technologies that maximize the use of natural resources, especially water, in areas where this resource is scarce. In soybean cultivation, one of the biggest challenges is efficient irrigation, as water requirements vary throughout the plant's growth cycle. Technologies such as soil moisture sensors and automated irrigation systems have proven effective in reducing water consumption, applying it precisely according to the plants' actual needs. Moreover, the use of programs that conduct visual plant analysis, identifying signs of water stress through leaf coloration, has helped adjust irrigation dynamically according to the soybean's developmental stage. This integrated monitoring and irrigation system not only ensures more efficient water management but also contributes to increased productivity by ensuring that plants receive the exact amount of water at each stage of their growth, without waste, while minimizing the environmental impact caused by excessive irrigation.

Key words: Automated and Intelligent Irrigation; Sustainable Agricultural Practices; Visual Monitoring of Soybeans.

## INTRODUÇÃO

O Maranhão se destaca como um dos principais estados produtores de soja no Brasil, especialmente nas regiões sul e oeste. Com mais de 1,3 milhão de hectares dedicados ao cultivo dessa oleaginosa, o estado é o segundo maior produtor de soja do Nordeste, ficando atrás apenas da Bahia. Na última safra, a produção maranhense ultrapassou 4,4 milhões de toneladas de soja. Para a safra 2024/2025, as previsões apontam um crescimento de cerca de 5%, com a expectativa de alcançar 4,8 milhões de toneladas, caso as condições climáticas e de mercado sejam favoráveis (SENAR-MA, 2025).

A produção de soja no Maranhão está concentrada principalmente no sul do estado, com destaque para municípios como Balsas, Tasso Fragoso, Carolina, Riachão, Sambaíba, Alto Parnaíba, Fortaleza dos Nogueiras, Loreto, Açailândia, Brejo, Chapadinha e Grajaú. Balsas, em particular, se firmou como o principal centro do agronegócio estadual, abrigando grandes empresas fornecedoras e compradoras de insumos e equipamentos, facilitando a comercialização dos grãos. A soja ocupa mais de 65% da área plantada no estado e representa cerca de 60% da produção agrícola maranhense. A área total plantada é de aproximadamente 2,139 milhões de hectares, dos quais 1,404 milhão de hectares são dedicados à soja, seguida pelo milho com 551 mil hectares.

O crescimento da produção de soja no Maranhão é impulsionado por fatores como a mecanização da agricultura, o uso de tecnologias avançadas e a infraestrutura logística, incluindo o Terminal de Grãos do Maranhão (Tegram), localizado no Porto do Itaqui. Esse terminal aumentou a capacidade de armazenamento e exportação de grãos como soja, milho e arroz, aproveitando as infraestruturas das Ferrovias Carajás e Norte-Sul para escoar a produção do sul do estado. Com o aumento contínuo da produção e a ampliação das áreas cultivadas, o Maranhão se consolidou como um dos maiores produtores de soja do Brasil, desempenhando um papel fundamental na economia estadual e nacional (PORTO DO ITAQUI, 2025).

## METODOLOGIA

Esta metodologia descreve a proposta de implementação de um sistema de irrigação autônoma inteligente para otimização do uso da água no cultivo de soja no estado do

Maranhão. A proposta combina o uso de sensores de umidade do solo, sistemas de irrigação automáticos distribuídos estrategicamente nas plantações e um programa desenvolvido em Python para analisar a coloração das plantas, determinando a necessidade de irrigação com base no estágio de maturação da soja. A seguir, apresenta-se uma descrição detalhada de como a metodologia proposta seria estruturada.

## Estratégia Proposta

A pesquisa proposta visa a implementação de um sistema de irrigação inteligente nas áreas de cultivo de soja no Maranhão, com foco na otimização do uso da água e no aumento da sustentabilidade da produção. A proposta envolve o monitoramento contínuo da umidade do solo e da saúde das plantas, utilizando tecnologia de sensores e análise visual das folhas. A irrigação seria ajustada de acordo com as necessidades específicas de cada estágio de maturação das plantas.

## Implementação do Sistema de Irrigação Inteligente

### Sensores de Umidade do Solo

A instalação de sensores de umidade do solo em diferentes profundidades (0,10 m, 0,20 m e 0,30 m) seria fundamental para fornecer dados em tempo real sobre o nível de umidade em pontos estratégicos nas parcelas de soja. Os sensores seriam conectados a um sistema central que acionaria os irrigadores automáticos sempre que os níveis de umidade caíssem abaixo dos valores ideais para o desenvolvimento saudável da soja. Esses sensores permitiriam uma irrigação mais eficiente, garantindo que a água fosse aplicada somente quando necessário, evitando desperdícios.

### Irrigadores Automáticos

Os irrigadores automáticos seriam distribuídos de forma estratégica ao longo das parcelas de soja, com pontos de irrigação fixos que cobririam toda a plantação. A distribuição dos irrigadores seria planejada para garantir a irrigação homogênea, com ajustes automáticos baseados nos dados de umidade fornecidos pelos sensores. Esses irrigadores operariam de maneira inteligente, acionando somente quando a necessidade hídrica fosse identificada, evitando o uso excessivo de água.

**Programa em Python para Análise Visual das Plantas**

Um programa em Python seria desenvolvido para analisar imagens capturadas por drones ou câmeras fixas instaladas na plantação. Utilizando as bibliotecas OpenCV e Scikit-image, o programa realizaria a análise da coloração das folhas da soja, identificando o estágio de maturação da planta. Esse sistema de análise visual permitiria que a irrigação fosse ajustada de acordo com o estágio de crescimento das plantas. Por exemplo, em estágios mais avançados de maturação, como o R7 (quando as vagens ficam secas e os grãos apresentam um teor de umidade entre 13% e 15%), a irrigação seria reduzida ou interrompida, evitando o desperdício de água e promovendo um processo mais eficiente.

**Estágios de Maturação da Soja e Necessidades Hídricas**

A soja passa por diversas fases de maturação, e cada uma delas tem uma necessidade hídrica distinta. A proposta do sistema de irrigação inteligente leva em consideração esses estágios para ajustar a irrigação de forma ideal:

- **Estágio R1 – Início da Floração:** Durante essa fase, as plantas de soja necessitam de uma quantidade considerável de água, pois é o período de formação das flores. A irrigação deve ser intensa para garantir que as plantas tenham água suficiente para o desenvolvimento inicial das vagens.
- **Estágio R3 – Formação de Vagens:** Este estágio exige uma quantidade significativa de água para suportar a formação das vagens e o início do crescimento dos grãos. A irrigação deve ser contínua, mas ajustada conforme os dados dos sensores e a análise das folhas.
- **Estágio R5 – Início da Formação de Grãos:** A demanda hídrica diminui, mas ainda é necessária para garantir o bom desenvolvimento dos grãos. A irrigação precisa ser moderada e deve ser ajustada com base na umidade do solo e nas condições climáticas.
- **Estágio R7 – Maturação Completa (Grãos com Cor Marrom ou Cinza):** Neste estágio, a soja já atingiu sua maturidade, e a necessidade de água é mínima. O sistema de irrigação inteligente deve reduzir ou até interromper a irrigação, pois a planta já não requer mais grandes quantidades de água. Isso evita o desperdício e contribui para a preservação dos recursos hídricos (Kasuya, 2025).

### Coleta de Dados

A coleta de dados seria realizada de forma contínua ao longo de todo o ciclo de cultivo da soja, com a utilização de sensores de umidade e câmeras para captura de imagens das plantas. As principais fontes de dados seriam:

- **Sensores de Umidade:** Fornecendo dados em tempo real sobre a umidade do solo, permitindo a decisão automática sobre a irrigação.
- **Imagens das Plantas:** Capturadas por drones ou câmeras, essas imagens seriam processadas pelo programa em Python para determinar o estágio de maturação e a necessidade de água das plantas.
- **Monitoramento da Saúde das Plantas:** Durante o ciclo de cultivo, a saúde das plantas seria monitorada, com foco na detecção precoce de estresse hídrico, o que permitiria ajustes rápidos na irrigação.

### Análise de Dados

A análise dos dados seria realizada em duas frentes principais:

- **Análise Quantitativa:** A quantidade de água aplicada seria comparada entre as parcelas que utilizam o sistema de irrigação inteligente e aquelas que utilizam métodos tradicionais, avaliando a eficiência no uso da água e a economia de recursos.
- **Análise Qualitativa:** A saúde das plantas e a produtividade seriam monitoradas para verificar a eficácia do sistema de irrigação inteligente na promoção do crescimento saudável das plantas e no aumento da produtividade das lavouras.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados Esperados

O sistema de irrigação inteligente proposto tem o potencial de gerar uma série de resultados positivos em relação à eficiência no uso da água, à produtividade da soja e ao impacto ambiental. Com base nos dados obtidos através de sensores de umidade do solo e da análise visual das plantas, é possível antecipar os seguintes resultados:

### Eficiência no Uso da Água

Espera-se que o uso do sistema de irrigação inteligente proporcione uma redução significativa no consumo de água em comparação com os métodos tradicionais de irrigação. A irrigação será acionada apenas quando os sensores detectarem que a umidade do solo está abaixo dos níveis ideais, evitando o desperdício de água. Com base em estudos semelhantes, uma economia de até 30% no uso da água pode ser alcançada, o que representaria uma redução considerável nos custos operacionais para os produtores de soja, especialmente em regiões como o Maranhão, onde a escassez de água é uma preocupação crescente.

**Aumento na Produtividade da Soja**

Com o controle preciso da irrigação, as plantas de soja deverão receber a quantidade ideal de água em cada fase do seu desenvolvimento. Esse controle específico pode prevenir o estresse hídrico e promover um crescimento saudável, resultando em um aumento na produtividade. Em comparação com o cultivo tradicional, espera-se que a produtividade aumente, uma vez que as plantas terão as condições ideais para um desenvolvimento robusto, especialmente durante os estágios críticos de floração e formação dos grãos.

**Impacto Ambiental Positivo**

O uso mais eficiente da água, aliado à minimização do desperdício, poderá gerar um impacto ambiental positivo, preservando recursos hídricos e reduzindo o impacto sobre os lençois freáticos e corpos d'água da região. A irrigação controlada também pode ajudar a reduzir o consumo de energia elétrica, uma vez que os sistemas de irrigação automatizados podem operar de forma mais eficiente e somente quando necessário.

**Discussões sobre os Resultados**

**Eficiência no Uso da Água**

A otimização do uso da água, proporcionada pelos sensores de umidade e pela análise visual das plantas, confirma a viabilidade do sistema de irrigação inteligente como uma solução sustentável para a agricultura. Estudos anteriores, como o de [Kasuyama 2025], indicam que tecnologias de irrigação inteligentes podem reduzir significativamente o consumo de água em culturas de alto consumo hídrico, como a soja. O uso de sensores permite uma irrigação mais precisa e eficiente, evitando irrigação excessiva e desperdício, fatores que são comuns em sistemas tradicionais de irrigação.

Com a irrigação controlada, os produtores de soja podem gerenciar melhor seus

recursos hídricos, o que é particularmente importante em regiões semiáridas como o Maranhão, onde a água é um recurso limitado. A redução no uso de água também pode ter implicações econômicas positivas para os produtores, pois diminui os custos operacionais com energia elétrica e água.

**Produtividade e Saúde das Plantas**

O controle mais preciso da irrigação também pode afetar positivamente a saúde das plantas, prevenindo o estresse hídrico que prejudica o crescimento e a produção. O estágio crítico de maturação da soja, como o R7, exige uma gestão cuidadosa da irrigação para garantir que as plantas atinjam seu potencial máximo de rendimento sem o risco de excesso de água que poderia afetar a qualidade dos grãos.

Com o sistema de irrigação inteligente, as plantas podem ser irrigadas apenas nas fases em que realmente necessitam, o que ajuda a melhorar o desempenho geral da lavoura. A irrigação inteligente pode proporcionar um aumento da produtividade, minimizando perdas associadas ao estresse hídrico e assegurando que as plantas recebam os nutrientes necessários de maneira eficiente.

**Impacto Ambiental e Sustentabilidade**

O impacto ambiental do sistema de irrigação inteligente é significativo. A redução no consumo de água contribui diretamente para a preservação de recursos hídricos, um fator fundamental no contexto do Maranhão, uma região com desafios relacionados à escassez de água. Além disso, a irrigação eficiente também pode diminuir o impacto de práticas agrícolas tradicionais sobre o meio ambiente, como o risco de escoamento de fertilizantes e pesticidas para corpos d'água.

Outro aspecto importante é a redução do uso de energia elétrica. Sistemas tradicionais de irrigação frequentemente operam em ciclos que consomem grandes quantidades de energia, especialmente quando não são ajustados às reais necessidades das plantas. Ao operar apenas quando necessário, o sistema inteligente pode reduzir a carga de trabalho dos sistemas de irrigação, diminuindo o consumo de energia elétrica e, consequentemente, os custos associados.

**Limitações e Desafios**

Embora os resultados sejam promissores, existem alguns desafios e limitações a serem

considerados na implementação do sistema de irrigação inteligente. O custo inicial de instalação dos sensores de umidade e das câmeras para análise visual, bem como o desenvolvimento e manutenção do sistema de monitoramento em Python, pode ser um obstáculo para pequenos produtores. No entanto, o retorno financeiro a longo prazo, proveniente da redução de custos com água e aumento da produtividade, pode justificar o investimento.

Além disso, a dependência de tecnologia e a necessidade de treinamento para os agricultores pode ser uma barreira. A capacitação dos produtores para operar o sistema e interpretar os dados gerados pelos sensores e pelo programa de análise visual é crucial para o sucesso do sistema.

### Implicações para o Futuro da Agricultura Sustentável

A proposta de utilizar a irrigação inteligente no cultivo de soja não se limita a melhorar a eficiência hídrica, mas também abre caminho para a adoção de tecnologias mais avançadas na agricultura. Sistemas de monitoramento remoto, sensores e IA são ferramentas que podem ser escaladas e adaptadas a diversas culturas e condições climáticas. A adoção generalizada de tais tecnologias pode representar um avanço significativo para a agricultura sustentável, contribuindo para a preservação dos recursos naturais e a melhoria da produtividade agrícola.

## CONCLUSÃO

A irrigação é um dos elementos mais importantes para o sucesso da produção agrícola, especialmente em regiões com recursos hídricos escassos, como o Maranhão. Este estudo propôs a implementação de um sistema de irrigação autônoma inteligente com o objetivo de otimizar o uso da água no cultivo de soja. A proposta combina tecnologias avançadas, como sensores de umidade do solo, sistemas de irrigação automáticos e um programa de análise visual baseado em Python, para monitorar a saúde das plantas e ajustar a irrigação de maneira precisa e eficiente. A metodologia apresentada revelou-se uma solução inovadora e sustentável, capaz de gerar diversos benefícios para os produtores de soja.

Os resultados esperados sugerem uma melhoria substancial na eficiência do uso da água, com uma redução de até 30% no consumo de água em comparação aos métodos tradicionais de irrigação. Além disso, o uso de sensores de umidade e a análise visual das

plantas podem contribuir para o aumento da produtividade da soja, prevenindo o estresse hídrico e garantindo que as plantas recebam a quantidade exata de água em cada fase do seu ciclo de crescimento. A preservação ambiental também é um ponto importante, pois o sistema reduz o desperdício de água, ajudando a preservar lençóis freáticos e corpos d'água, além de promover a sustentabilidade da agricultura.

No entanto, como ocorre com qualquer inovação tecnológica, surgem desafios e limitações. O custo inicial de instalação dos sensores e do sistema de monitoramento, bem como a necessidade de capacitar os produtores para utilizar o sistema de forma eficiente, são fatores que precisam ser levados em consideração para a implementação bem-sucedida. Superar essas barreiras, por meio de políticas públicas de apoio, treinamentos e investimentos no desenvolvimento de tecnologias, é crucial para tornar a irrigação inteligente acessível a um maior número de produtores, especialmente os de menor porte.

Além disso, a adoção de tecnologias de irrigação inteligente pode ser um marco importante para o futuro da agricultura sustentável. A inovação tecnológica no setor agrícola é essencial para enfrentar os desafios relacionados ao crescimento populacional, mudanças climáticas e

escassez de recursos naturais. O uso eficiente da água, aliado a melhorias nas práticas agrícolas, não só aumenta a rentabilidade dos produtores, mas também contribui para a segurança alimentar global e a preservação dos recursos naturais.

## REFERÊNCIAS

[1] Kasuya, N. F.; Fases de Maturação e Necessidades Hídricas da Soja. Rev. Bras. Agric. 2025, 34, 2, 98-105.

[2] Porto do Itaqui. Porto do Itaqui. Disponível em: https://www.portodoitaqui.ma.gov.br. Acesso em: 20 jun. 2025.

[3] Embrapa. Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 20 jun. 2025.

[4] CNA Brasil. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Disponível em: https://cnabrasil.org.br/index.html. Acesso em: 20 jun. 2025.

[5] SAGRIMA. Plantio da soja no Maranhão avança conforme o esperado e Aprosoja projeta aumento na produtividade. Disponível em:

https://sigite.sagrima.ma.gov.br/plantio-da-soja-no-maranhao-avanca-conforme-o-esperado-e aprosoja-projeta-aumento-na-produtividade/. Acesso em: 15 jul. 2025.

[6] Governo do Maranhão. Produção agrícola no Maranhão atinge R$ 11,4 bilhões em exportações em 2023, com destaque para soja e milho. Disponível em: https://www.ma.gov.br/noticias/producao-agricola-no-maranhao-atinge-r-114-bilhoes-em-exp ortacoes-em-2023-com-destaque-para-soja-e-milho. Acesso em: 15 jul. 2025.