

GESTÃO DE DADOS CLIMÁTICOS PARA PLANTIO DE SOJA EM AMBIENTE CONFINADO¹

CLIMATE DATA MANAGEMENT FOR SOYBEAN PLANTING IN A CONFINED ENVIRONMENT

Emili Everz Golombiéski², Maria Salete Marcon Gomes Vaz³,
Zito Palhano da Fonseca⁴ e Railson Rodrigues⁵

RESUMO

Ambientes confinados referem-se a espaços controlados e restritos, como estufas ou salas de cultivo, onde as condições ambientais podem ser monitoradas e ajustadas. Neste artigo, é apresentada uma solução para o gerenciamento de dados de temperatura e umidade no cultivo de soja em tais ambientes. Determinar os valores ideais de temperatura e umidade é uma tarefa relevante para o desenvolvimento saudável das plantas. Para isso, foi utilizado um Sensor DHT11, em conjunto com o Módulo ESP8266, um microcontrolador empregado na Internet das Coisas (IoT). A calibração dos dados foi realizada com medidas de um termômetro-higrômetro, garantindo a precisão e a confiabilidade das informações. A combinação do sensor com o microcontrolador apresentou uma solução tecnológica inovadora para a otimização do cultivo de soja, melhorando a eficiência e a produtividade, além de contribuir para a agricultura sustentável e para a segurança alimentar.

Palavras-chave: temperatura; umidade; segurança alimentar e agricultura.

ABSTRACT

Confined environments refer to controlled, restricted spaces, such as greenhouses or grow rooms, where environmental conditions can be monitored and adjusted. In this article, a solution for managing temperature and humidity data in soybean cultivation in such environments is presented. Determining ideal temperature and humidity values is a relevant task for the healthy development of plants. For this, a DHT11 Sensor was used, together with the ESP8266 Module, a microcontroller used in the Internet of Things (IoT). The calibration of the collected data was carried out with measurements collected by a thermometer-hygrometer, ensuring the accuracy and reliability of the information. The combination of the sensor and the microcontroller presented an innovative technological solution for optimizing soybean cultivation, improving efficiency and productivity, in addition to contributing to sustainable agriculture and food security.

Keywords: temperature; humidity; food security and agriculture.

1 Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG.

2 Mestre em Computação Aplicada. E-mail: emilieverz043@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8354-9925>

3 Doutora em Ciência da Computação. E-mail: salete@uepg.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9172-1863>

4 Doutor em Engenharia Elétrica. E-mail: zpito@uepg.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2969-5112>

5 Mestrando em Computação Aplicada. E-mail: railson_0612@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8022-8592>

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de soja, tendo colhido de 135.409 milhões de toneladas na Safra 2021/22 utilizando 4% do território brasileiro para o plantio do grão (Siani *et al.*, 2022). A ocupação de 8% do solo é destinada à agricultura, em produção de grãos (aproximadamente 60 milhões de hectares) e 3,5% destinam-se à soja, o equivalente a 33 milhões de hectares (IBGE, 2020).

Segundo a Embrapa (2022), o Estado de Mato Grosso é responsável pela maior produção de soja do País, atingindo a marca de 35.947 milhões de toneladas, 26,5% da produção brasileira, em uma área de aproximadamente 10.294 milhões de hectares. O Paraná assume o segundo lugar com uma produção de 19.872 milhões de toneladas, em uma área de 5.618 milhões de hectares, representando cerca de 14,6% do total no País.

A soja possui período preferencial para a semeadura, entre meados de outubro e a primeira quinzena de dezembro. Entretanto, esta etapa tem sido feita de outubro até meados de novembro, com maior produtividade e crescimento adequado da planta, com os períodos em clima quente e úmido.

Esta cultura é considerada um alimento funcional devido à presença de substâncias fisiologicamente ativas, as quais têm sido associadas à modulação dos processos metabólicos, à melhoria das condições de saúde e bem-estar, além da prevenção de surgimento de doenças degenerativas (Santos *et al.*, 2020).

Diante da crescente demanda por este alimento e da necessidade de produção em maior escala, surge a necessidade de espaços para cultivo. Em muitos países, a área disponível para a agricultura é limitada, justificando a busca por alternativas como a implementação de ambientes confinados para o cultivo de soja (Silva *et al.*, 2019).

Chelala *et al.* (2022) apresentam algumas dificuldades para o plantio de grãos, das quais destaca-se a instabilidade do clima. A variável clima não pode ser controlada, porém os dados podem ser previstos e medidas podem ser tomadas. Nobre *et al.* (2019) apresentam dados sobre o Fenômeno La Niña, causador do resfriamento do Oceano Pacífico, apontando a prevenção de impactos, pelo menos, até o verão seguinte. No Brasil, esse evento provoca chuvas acima da média no Centro-Norte e na Região Sul. Já no Sudeste, os períodos de veranicos, momento em que ocorre a estiagem acompanhada de muito calor e baixa umidade relativa do ar, as chuvas são intensificadas.

O agronegócio tem se adequadado às inovações tecnológicas, das quais outros setores já usufruem. A agricultura digital, por exemplo, faz parte de uma revolução caracterizada pela transformação da relação do produtor com o campo.

O uso de computadores, dispositivos e sensores estão mais presentes no meio rural. E, com as empresas de tecnologia atentas à evolução do agro, o surgimento de programas com interfaces didáticas e simples tem ajudado, até mesmo, quem não tinha familiaridade com a gestão de dados do seu negócio.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma abordagem tecnológica aplicada ao cultivo de soja em ambientes confinados, visando otimizar a produção agrícola e a partir da substituição de ferramentas analógicas. Diante da crescente demanda por soja e da limitação de áreas disponíveis para a agricultura, é proposta a utilização de sistemas controlados por microcontroladores, sensores e atuadores para monitorar e ajustar as condições ambientais de cultivo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sandoval *et al.* (2020) apresentam as formas de utilização de sensores e atuadores para controlar a dosagem variável em sistemas mecatrônicos para acionamento e controle dos dispensadores de fertilizantes, substituindo os sistemas mecânicos tradicionais que permitem uma mudança contínua, em tempo real, da taxa de aplicação. Seu sistema é baseado em microcontroladores como unidade de processamento e controle, além de motores de corrente contínua com *encoders* para acionar os dispersores.

Ruiz-Ayala *et al.* (2021) apresentam o desenvolvimento de um sistema para monitoramento sem fio de variáveis climáticas. O projeto foi feito a partir de Microcontroladores Microchip, para aquisição, armazenamento e transmissão sem fio de sinais digitais. Da mesma forma, o microcontrolador utiliza um relógio em tempo real com data e hora de aquisição das amostras.

Gómez-Meza *et al.* (2021) realizaram coleta de informações com o microcontrolador ESP8266, ligado ao armazenamento em nuvem e realização do processamento de dados. O protótipo utiliza módulos com sensores e Protocolo de Comunicação MQTT.

Para compreensão, a NR33, define espaço confinado como:

[...] qualquer área ou ambiente não projetado para ocupação humana contínua, que possua meios limitados de entrada e saída, cuja ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes ou onde possa existir a deficiência ou enriquecimento de oxigênio (BRASIL, 2006, p. 12, com alterações de 2012, 2019 e 2022).

Essa norma define os projetos instalados em ambientes confinados, com equipamentos fixos (sejam de comunicação ou trabalho) sinalizados e de fácil acesso. Apresenta a necessidade de prevenção de incêndio, alagamento, soterramento, engolfamento, choques elétricos, eletricidade estática, queimaduras, quedas, escorregamentos, impactos, esmagamentos, amputações e outros fatores contribuintes para a segurança e saúde dos trabalhadores.

Para trabalhar com culturas agrícolas em ambientes confinados é necessário o uso de sensores e atuadores para diminuir o tráfego de pessoas dentro da instalação, garantindo segurança e maior qualidade produtiva, pelo fato de sensores e atuadores serem controlados remotamente.

Segundo Kerschbaumer (2023), os microcontroladores são circuitos integrados com componentes necessários ao seu funcionamento, dependendo unicamente da fonte de alimentação externa.

Os seus usos são variados e podem ser utilizados em dispositivos eletrônicos digitais, como termômetros, irrigômetros e nos circuitos com uso de atuadores.

Rang *et al.* (2020) e Randelović *et al.* (2021) destacam a importância de utilizar sensores e controladores de alta precisão para otimizar o controle climático em ambientes agrícolas. Os autores apontam, ainda, sobre a precisão na medição de temperatura e umidade e como garantir um crescimento uniforme das plantas. Para isso, sensores como o Sensirion SHT3x e o Bosch BME280 foram recomendados devido à sua alta precisão e confiabilidade em ambientes de cultivo controlado. Além disso, Roziq *et al.* (2022) apontam o uso de sensores de luminosidade avançados, como o TSL2561, permitindo uma medição precisa da intensidade da luz, condição essencial para o desenvolvimento saudável das plantas.

Weber *et al.* (2021) destacam a integração de sensores de CO₂, como o Sensirion SCD30, devido à concentração de dióxido de carbono ter impacto direto na fotossíntese e no crescimento das plantas. Para controlar e processar esses dados com maior eficiência, é recomendável o uso de controladores como o Raspberry Pi 4 ou o ESP8266 que oferecem capacidade de processamento e conectividade, permitindo a implementação de algoritmos avançados de controle e análise de dados em tempo real.

Wan *et al.* (2022) destacam como as plataformas de Internet das Coisas, o AWS IoT ou o Google Cloud IoT, que facilitam a gestão integrada de sensores e de análise dos dados coletados, proporcionando uma visão holística do ambiente de cultivo e permitindo ajustes automáticos baseados em condições ambientais diversas. Ao otimizar o uso de recursos, essas tecnologias aumentam a eficiência do controle climático e contribuem para a sustentabilidade da produção agrícola.

A segurança alimentar é essencial para garantir o acesso regular e suficiente a alimentos nutritivos, possibilitando uma dieta saudável para a população. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a segurança alimentar envolve quatro dimensões principais: disponibilidade, acesso, utilização e estabilidade dos alimentos (FAO, 2022). Tecnologias emergentes, como as plataformas de Internet das Coisas, têm o potencial de apoiar a segurança alimentar ao otimizar a produção agrícola, reduzir desperdícios e melhorar a gestão de recursos, contribuindo para uma cadeia de abastecimento mais resiliente e sustentável.

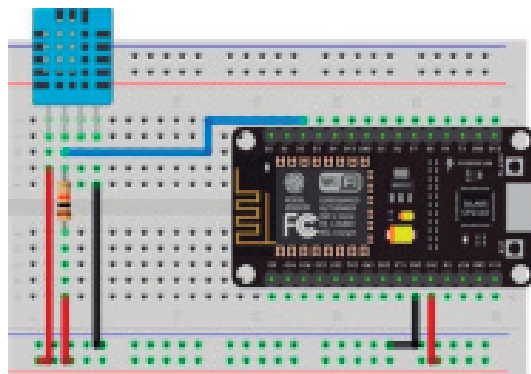
METODOLOGIA

Para a comparação, análise e gestão dos dados desta pesquisa, foram necessárias algumas ferramentas e alguns métodos. Dentre eles, destaca-se a demanda de controle de informações e de determinação de sua veracidade. Para essa finalidade, os resultados foram catalogados em arquivos Excel por ser uma ferramenta confiável para análise e visualização dos mesmos, contribuindo para a tomada de decisões.

Dada a área de aplicação, delimitou-se no ambiente confinado para o plantio de soja. Foi selecionado o microcontrolador Módulo ESP8266, um equipamento com saída serial de fácil compreensão, tamanho reduzido e permitindo utilização segura de espaço pelo sistema, além de ser um microcontrolador aplicado em sistemas de internet das coisas, visando a expansão futura.

Para a coleta de dados, foi montado um circuito (Figura 1), utilizando um sensor DHT11, com 4 (quatro) terminais. O primeiro (VCC) é o terminal de alimentação, conforme *datasheet* do fabricante pode ser entre 3 V e 5,5 V. O segundo (DATA) é o pino de comunicação de dados, através dele são comunicados os valores de temperatura e umidade. O terceiro (NC) é um pino vazio. O último (GND) é o terminal de terra do sensor, resistor de 4K Ω e o Módulo NODEMCU ESP8266. Por ser Dispositivo IoT, tem Microprocessador ARM de 32 bits com suporte embutido à rede WIFI e memória flash integrada. Essa arquitetura permite a programação de forma independente, além de permitir a expansão futura.

Figura 1 - Esquemático de ligação dos componentes.



Fonte: Construção do Autor.

A coleta de dados no sistema microcontrolador, por meio do ESP8266, é realizada de maneira eficiente e ágil pela saída serial da interface do ambiente de desenvolvimento Arduino IDE. Esse ambiente, com aplicação de plataforma cruzada e implementado por funções em C e C++, é reconhecido e utilizado na programação de placas compatíveis com Arduino. Além disso, por meio de núcleos de terceiros, é possível estender sua compatibilidade com placas de desenvolvimento, fornecidas por diversos fabricantes.

O circuito é interligado ao ambiente do Arduino IDE para receber o código fonte, responsável pela captura dos indicadores de temperatura e umidade. Durante a execução do programa, os dados capturados são transmitidos pela porta serial do microcontrolador, seguindo uma periodicidade definida pelo código em execução. Nesta pesquisa, a periodicidade foi de 3.600.000 milissegundos, correspondente a uma hora. Esta abordagem permite a coleta sistemática e automatizada dos dados, disponibilizados em uma planilha.

Na captura de informações de temperatura e umidade, o Sensor DHT11 é eficaz, porém apresenta margem de erro em suas medições, com uma precisão de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura e

$\pm 3\%$ em seu percentual de umidade. Estes valores devem ser considerados na interpretação dos dados coletados, garantindo uma análise precisa e confiável dos resultados.

Durante o processo de coleta, é realizada a calibração do equipamento para garantir a qualidade e a precisão das informações obtidas. Para este fim, foi conduzida uma análise durante 30 dias, totalizando 720 horas, importante para obtenção de amostra representativa e confiável. Nesta análise foram utilizados um termômetro digital e um higrômetro para medição da umidade do ar, empregando um relógio digital *Underbody* (Figura 2).

Figura 2 - Termômetro Higrômetro Underbody.



Fonte: Construção do Autor.

Em relação à medição de temperatura, o equipamento demonstrou precisão em casa decimal, com margem de erro estabelecida em ± 1.5 unidades. Em relação à umidade do ar, as medidas não apresentam casas decimais e são acompanhadas de porcentagem de erro de ± 2 unidades. Estes aspectos permitem a interpretação correta dos resultados obtidos e a confiabilidade dos dados coletados ao longo do período de análise.

Após o levantamento das informações foi realizada comparação dos valores base, obtidos por cada equipamento. Os dados foram mantidos em Arquivos .xlsx, possibilitando uma análise comparativa detalhada. Esta análise foi conduzida por meio de gráficos de dispersão, reconhecidos por sua capacidade de representação visual dos dados, de forma precisa.

Os gráficos de dispersão destacam-se pela sua habilidade de capturar variações nos parâmetros, oferecendo uma representação para identificar padrões e discrepâncias, de forma eficiente. Os gráficos proporcionaram uma avaliação precisa e confiável da correlação entre os valores registrados pelos diferentes equipamentos, contribuindo para a interpretação e análise dos resultados.

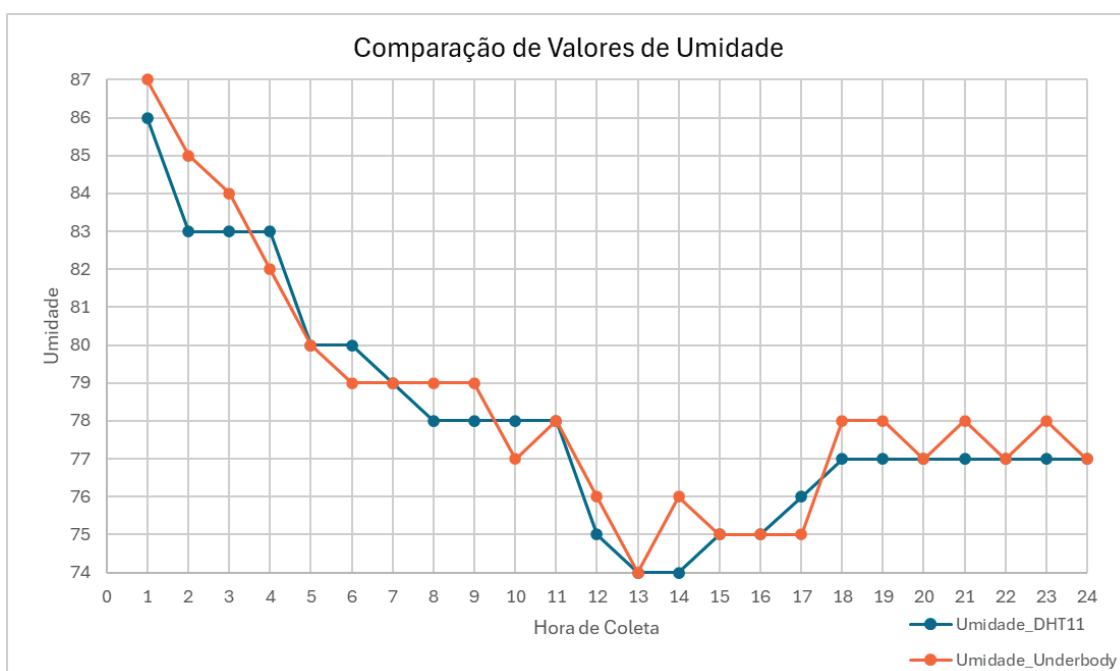
RESULTADOS

Após a coleta e armazenamento das informações de temperatura e umidade, realizou-se uma arguição por meio de gráficos de dispersão. A coleta foi realizada ao longo de 720 (setecentos e vinte)

horas, proporcionando um conjunto extenso e detalhado. No entanto, ao plotar esses dados em um gráfico de dispersão, observou-se alta quantidade de informações, resultando em um gráfico visualmente poluído, dificultando a análise dos padrões e correlações.

Por esse motivo, optou-se por reduzir o intervalo de exibição dos gráficos para 24 horas (Figura 3), resultando em 30 gráficos. Essa diminuição permitiu uma visualização clara e precisa dos dados, facilitando a comparação entre os valores de umidade, apresentados pelo Sensor DHT11 e os dados obtidos pelo hidrômetro de referência. A visualização em períodos menores mantém a integridade da análise, ao mesmo tempo elimina a sobrecarga visual, proporcionando uma compreensão dos resultados.

Figura 3 - Gráfico de medidas de umidade do Sensor DHT11 e do hidrômetro.



Fonte: Construção do Autor.

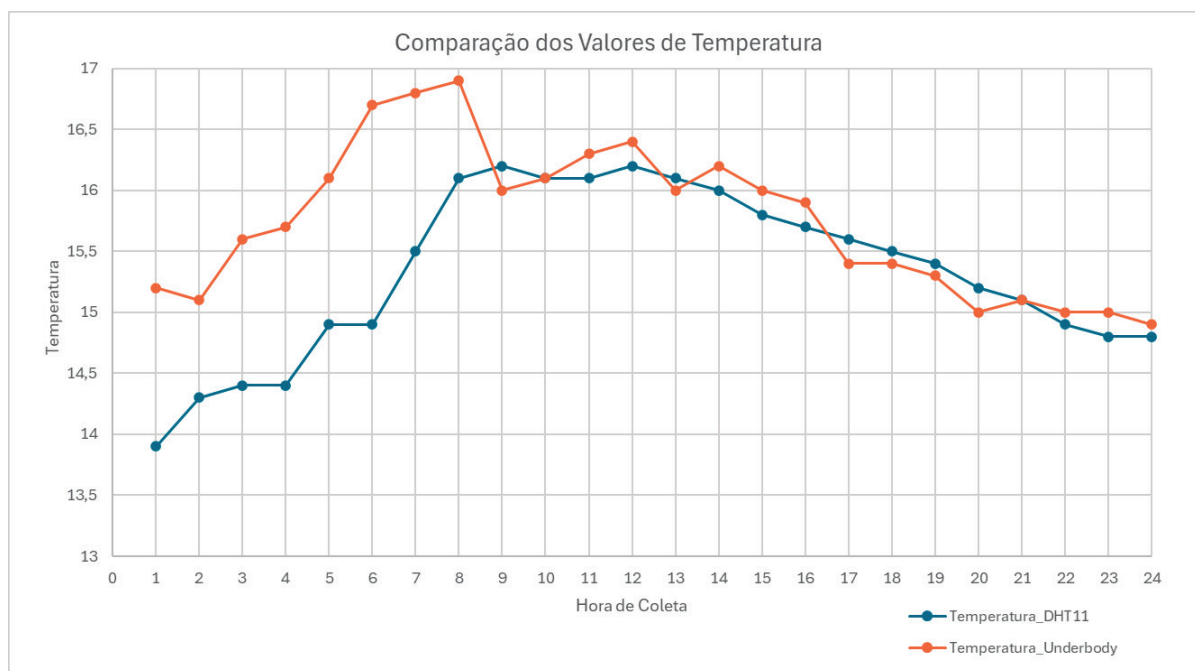
Para avaliar a precisão dos dados armazenados pelo sistema, em comparação aos valores do higrômetro utilizado como referência, foi considerada a margem de erro de 3% aceita pelo higrômetro. Analisando as primeiras cinco leituras, o sensor mediu 85, 83, 83, 83 e 79, e o higrômetro, 86, 85, 84, 82 e 79.

A partir das medidas, foi calculada a diferença absoluta entre cada par de leituras do sensor e do higrômetro. Para a primeira leitura, a diferença é $|85 - 86| = 1$; para a segunda, $|83 - 85| = 2$; para a terceira, $|83 - 84| = 1$; para a quarta, $|83 - 82| = 1$; e para a quinta, $|79 - 79| = 0$. A diferença percentual para cada par de leituras, usando a Fórmula 1, corresponde a aproximadamente 1.16%, 2.35%, 1.19%, 1.22% e 0%.

$$\frac{\text{Diferença Absoluta}}{\text{Valor do Higrômetro}} \times 100 \quad (1)$$

Comparando as diferenças percentuais com a margem de erro, já aceita pelo higrômetro, de 3%, as leituras estão dentro do limite permitido. Portanto, os dados coletados e armazenados pelo sistema mostram uma precisão consistente e confiável quando comparados aos valores do higrômetro de referência, assegurando a confiabilidade dos dados obtidos. Para facilitar a visualização, o gráfico (Figura 4) apresenta medidas de temperatura do Sensor DHT11 e do termômetro utilizado como referência, em um intervalo de 24 horas.

Figura 4 - Gráfico de comparação das medidas de temperatura do DHT11 e do termômetro



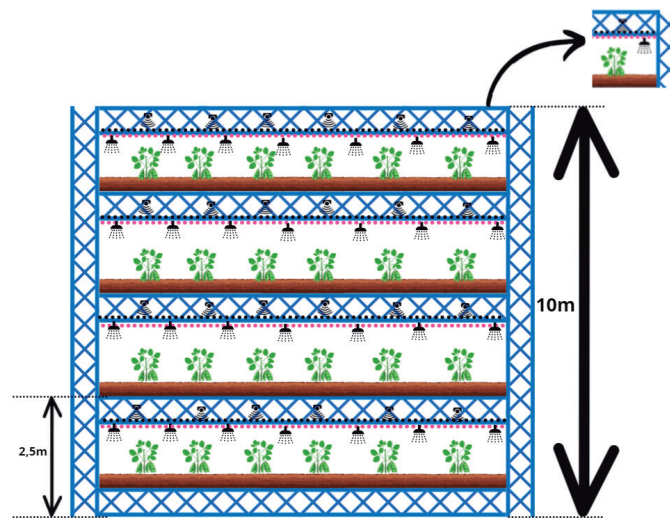
Fonte: Construção do Autor.

Para verificar a precisão dos dados coletados pelo Sensor DHT11, comparado com os valores do termômetro de referência, a margem de erro de até 1,5°C, aceita pelo termômetro, foi considerada. Analisando as leituras, onde o sensor mediu 13.9°C, 14.3°C, 14.4°C, 14.4°C e 14.9°C, e o termômetro apresentou as medidas 15.2°C, 15.1°C, 15.6°C, 15.7°C e 16,1°C. A diferença absoluta obtida, entre as leituras do sensor e do termômetro, são as seguintes: 1.3°C, 0.8°C, 1.2°C, 1.3°C e 1.2°C.

Observando as diferenças com a margem de erro de 1.5°C, é possível aferir as leituras dentro do limite permitido. Portanto, os dados coletados pelo Sensor DHT11 mostram uma precisão consistente, se comparados aos valores do termômetro de referência. Isso indica que o sensor DHT11 fornece leituras dentro da tolerância esperada.

O modelo de cultivo de soja (Figura 5), em ambiente confinado, desenvolvido nesta pesquisa, destaca-se pela aplicação do Sensor DHT11, implementado com o Módulo ESP8266. A escolha do sensor deve-se à sua capacidade de fornecer medições precisas de temperatura e umidade, para monitoramento e controle de um ambiente de cultivo confinado.

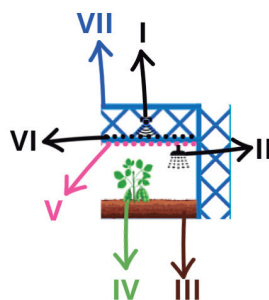
Figura 5 - Modelo de cultivo de soja em ambiente confinado.



Fonte: Construção do Autor.

Para visualização clara e detalhada, foi realizado o recorte da Figura 5 para apresentá-lo na Figura 6, e assim, permitir melhor esclarecimento dos componentes do sistema.

Figura 6 - Protótipo com partes numeradas e tamanhos representados.



Fonte: Construção do Autor.

A inspeção das partes do modelo de cultivo (Figura 6), facilitou a compreensão detalhada das interações e funcionalidades de cada componente. Este recorte foi feito como forma de garantia de apresentação de todos os elementos, clara, visível e devidamente numerada. Os componentes destacados são os que seguem:

I) Sensor DHT11: Principal componente desta pesquisa, utilizado para medir a temperatura e a umidade no ambiente de cultivo, com precisão. Sua estrutura modular permite a conexão de outros sensores, abrindo possibilidades para pesquisas futuras e expansão do sistema de monitoramento.

II) Irrigadores/Dispensores: Estes atuadores são essenciais para manter os níveis ideais de umidade tanto do ar quanto do solo, garantindo condições propícias para o crescimento saudável das plantas.

III) Solo: Este componente serve como substrato para o plantio da soja, proporcionando o suporte necessário para o desenvolvimento das raízes e a absorção adequada de nutrientes.

IV) Plantas: Representam o elemento central do cultivo, estando em diferentes estágios de crescimento. Sua saúde e desenvolvimento são monitorados para garantir uma produção de alta qualidade.

V) Luzes Artificiais: Os dispositivos de LED fornecem a iluminação necessária para a fotossíntese das plantas, substituindo a luz solar em ambientes fechados.

VI) Módulo ESP8266: Opera como o cérebro do sistema, facilitando a comunicação e o controle remoto entre os diversos sensores, atuadores e um sistema centralizado de gerenciamento. Oferece espaço adequado para a integração de outros atuadores, para otimizar o ambiente de cultivo.

VII) Estrutura Metálica: Fornece suporte e estabilidade para os componentes mencionados. Serve como plataforma de montagem dos itens, onde os sensores até os atuadores são instalados e integrados. A robustez e a durabilidade desta estrutura garantem a segurança dos componentes e a eficácia operacional do sistema de cultivo confinado.

Esta abordagem facilita a compreensão de como cada componente contribui para o funcionamento eficiente e automatizado do sistema de cultivo confinado. Ao destacar esses elementos, a Figura 6 permite a visualização e o entendimento da integração e da operação dos componentes tecnológicos aplicados ao cultivo de soja.

Uma projeção dos resultados esperados (Tabela 1) é apresentada, estimando o impacto do ambiente proposto na produção de soja. Com base nas análises e simulações realizadas, o ambiente tem capacidade de ampliar a produção de soja, com potencial de quadruplicar a produção de soja, comparada com os métodos tradicionais de cultivo.

Tabela 1 - Previsão de produção de soja com implantação do sistema de plantio de soja confinada em ambiente subterrâneo.

	Mato Grosso	Paraná
Produção atual (em milhões de toneladas)	35,947	19,872
Relação com a produção atual (%)	26,500	14,600
Produção esperada (em milhões de toneladas)	143,788	79,488
Relação com a produção atual (%)	106,000	58,400

Fonte: Construção do Autor.

O ambiente apresenta resultado direto inerente às inovações tecnológicas e em abordagens avançadas de cultivo. Esse resultado indica um potencial transformador para a agricultura, oferecendo uma resposta eficaz aos desafios de aumento da demanda por alimentos em escala global.

Ao fornecer uma representação visual do impacto esperado na produção de soja após a implementação do sistema. A ampliação expressiva na produção, como ilustrado na Figura 5, reflete a capacidade do ambiente em otimizar os processos de cultivo, garantindo condições ambientais ideais

para o crescimento das plantas. Esta visualização reforça a expectativa e o potencial de impulsionar a produtividade agrícola e atender às crescentes demandas de alimentos.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE PESQUISAS FUTURAS

A pesquisa realizada representa um avanço no campo da agricultura de precisão, especialmente quando se trata do cultivo de soja. Ao explorar e demonstrar o potencial das tecnologias de ambiente confinado, este estudo oferece informações sobre como otimizar a produção agrícola em ambientes controlados.

A implementação desse ambiente, combinada com o uso estratégico de sensores, atuadores e microcontroladores, aumenta a eficiência da produção e permite uma abordagem responsiva ao manejo das plantações.

Um dos principais destaques desta pesquisa é a projeção de aumento da produção de soja. A previsão reflete o potencial transformador das tecnologias empregadas e sugere uma mudança na concepção e práticas agrícolas. Ao oferecer uma solução viável para aumentar a produção de alimentos, no contexto global de crescente demanda e pressões ambientais, há um direcionamento para um futuro promissor para a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola.

A pesquisa demonstrou o papel dos sensores e microcontroladores no monitoramento e controle das condições ambientais do cultivo. A integração destas tecnologias permitiu um acompanhamento detalhado e em tempo real dos parâmetros, como temperatura e umidade, gerando informações para os agricultores.

A capacidade de monitoramento preciso aumenta a eficiência operacional e possibilita uma resposta a quaisquer variações nas condições do ambiente, ajudando a maximizar o potencial de crescimento das plantas e a qualidade da colheita.

Como perspectivas de pesquisas futuras, sugere-se aprimorar o ambiente proposto. Uma pesquisa adicional seria a implementação de um processo de calibração dos sensores. Isso envolverá a utilização de padrões de referência reconhecidos, para garantir a precisão das medições e a consistência ao longo do tempo. Além disso, propõe-se a realização de validações regulares dos dados coletados, um passo essencial para garantir sua confiabilidade em diferentes condições ambientais e ao longo do ciclo de cultivo.

Outra pesquisa seria a integração completa de todos os sensores e controladores em uma plataforma de Internet das Coisas (IoT). Essa integração permitirá o monitoramento contínuo das condições ambientais e o controle das variáveis em tempo real, oferecendo aos agricultores a capacidade de ajustar as condições de crescimento conforme demanda. O desenvolvimento de algoritmos de controle avançados, utilizando técnicas de aprendizado de máquina, pode levar a uma otimização das condições de crescimento. Esses algoritmos poderiam aprender com os dados coletados e fazer

ajustes automáticos para maximizar a produtividade e a qualidade da colheita.

Com essas melhorias e avanços tecnológicos, o ambiente de controle climático se tornará mais preciso e eficiente e, também, mais adaptável às necessidades específicas de diferentes culturas. Isso abrirá novas oportunidades para o cultivo de soja, além de uma ampla gama de outras culturas sensíveis às condições climáticas. Ao proporcionar um ambiente ideal para o crescimento das plantas, esses avanços têm o potencial de revolucionar a agricultura, tornando-a mais sustentável, produtiva e resiliente às mudanças ambientais.

REFERÊNCIAS

CHELALA, C. *et al.* Os obstáculos para a produção de grãos na Amazônia: o caso do estado do Amapá. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 60, n. 2, p. 20-35, jun. 2022.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2020/21)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 15 jun. 2022.

FAO. **An introduction to the basic concepts of food security**. Rome: FAO, 2008.

GÓMEZ-MEZA, J. S. *et al.* Diseño de un prototipo IoT para el monitoreo de material particulado en espacios reducidos utilizando ESP32 con servidor hospedado en la nube. **Sinergia Académica**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 1-18. 2021. Editorial Tecnocientífica Americana And Sinergia Académica. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA). Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

KERSCHBAUMER, M. Microcontroladores: Fundamentos e Aplicações. **Revista de Engenharia Eletrônica**, São Paulo: Editora Érica, 2023.

NOBRE, G. G. *et al.* Achieving the reduction of disaster risk by better predicting impacts of El Niño and La Niña. **Progress In Disaster Science**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 100022-100035, Elsevier BV. 2019.

NR33: **Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados**. Brasil. *Portaria MTE* n.º 202, de 22/12/2006, com alterações Alterações/Atualizações em *Portaria MTE* n.º 1.409, 29 de agosto de 2012, de 31/08/12; *Portaria SEPRT* n.º 915, de 30 de julho de 2019, de 31/07/19; e *Portaria MTP* n.º 1690, de 15 de junho de 2022 24/06/22.

RANG, J., *et al.* SenX3-RegX3, an Important Two-Component System, Regulates Strain Growth and Butenyl-spinosyn Biosynthesis in *Saccharopolyspora pogona*. **iScience**, 23. 2020.

RANĐELOVIĆ, D. *et al.* Quadcopter altitude estimation using low-cost barometric, infrared, ultrasonic and LIDAR. **Sensors**. 2021.

ROZIQ, M., *et al.* Analysis of X-Ray Beams Irradiation Accuracy Using Collimation Test Tools as Well as Illumination Measurement on the Collimator to the Radiographic X-Ray Machine Conformity Test Results. **Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics**. 2022.

RUIZ-AYALA, V.; *et al.* Desenvolvimento de um sistema de monitoramento sem fio de variáveis climáticas. **Revista de Tecnologia Aplicada**, v. 19, n. 1, p. 63-70, 2021.

SANDOVAL, F.; *et al.* Aplicação de sistemas mecatrônicos na dosagem variável de fertilizantes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 159-166, 2020.

SANTOS, A. M. *et al.* Soja: propriedades funcionais e potencialidades de uso em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. 1-14, 2020.

SIANI, S. R. *et al.* Grandes negócios ambientais da Amazônia: uma reflexão sobre a sustentabilidade da soja. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 8-19, Research, Society and Development. 2022.

SILVA, J. A.; *et al.* Diante da crescente demanda por alimentos e a necessidade de ampliação da produção agrícola: alternativas para o cultivo de soja em ambientes confinados. **Revista de Agricultura Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 45-56, 2019.

WAN, T., *et al.* In-Sensor Computing: Materials, Devices, and Integration Technologies. **Advanced Materials**, 35. 2022.

WEBER, K., *et al.* Design and development of a lightweight low-cost sensor unit for the parallel measurement of particles, gaseous air pollutants, atmospheric pressure, temperature and humidity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 1, p. 9-21.2021.