

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VARIAVÉIS ATMOSFÉRICAS NA CULTURA DO TRIGO POR MEIO DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Rafael Assanti ¹; Alessandra Dutra Coelho ²; Wânderson de Oliveira Assis ²; Fernando de Almeida Martins ³; Rogério Cassares Pires ³

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

³ Engenheiro do Centro de Pesquisas (CP/CEUN-IMT).

Resumo. Este trabalho visa desenvolver e implementar um sistema de monitoramento das variáveis atmosféricas para o cultivo do trigo. O diferencial deste trabalho é a integração de uma Estação Meteorológica com um sensor de umidade do solo de três níveis, permitindo a coleta de dados em diferentes profundidades. Os dados são transmitidos utilizando a tecnologia Long Range Wide Area Network para um gateway e são processados na plataforma Node-RED. Na qual, também se desenvolveu um dashboard e um bot no Telegram para visualização e consulta dos dados em tempo real. O sistema foi projetado para funcionar de forma autônoma no campo, alimentado por um painel solar conectado a uma bateria recarregável, garantindo operação contínua. A Estação Meteorológica está operacional atualmente em uma fazenda em Passo Fundo.

Introdução

O trigo (*Triticum aestivum L.*) é uma cultura essencial para a alimentação humana, sendo a base alimentar de aproximadamente 35% da população mundial e responsável por 20% das calorias globais consumidas, destacando-se como uma fonte sustentável de proteínas e carboidratos para a saúde (Alomari *et al.*, 2023). O sucesso do cultivo do trigo depende significativamente das condições ambientais, especialmente de variáveis atmosféricas como temperatura, umidade, precipitação e luminosidade (Guarienti, *et al.*, 2001). Essas variáveis influenciam diretamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, afetando a qualidade e a quantidade da produção. Tradicionalmente, o monitoramento dessas variáveis tem sido realizado de forma manual ou por sistemas não integrados, o que pode resultar em informações desatualizadas ou imprecisas. Com o avanço da tecnologia e a chegada da Quarta Revolução Industrial, a adoção de tecnologias digitais e da Internet das Coisas (IoT) na agricultura tornou-se uma realidade, possibilitando a automação e otimização de processos agrícolas (Farooq *et al.*, 2019) (Maia *et al.*, 2017).

A implementação de sistemas de monitoramento automatizados permite a coleta de dados em tempo real, proporcionando aos agricultores informações precisas para a tomada de decisões. O uso de protocolos de comunicação sem fio, como o *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN), permite a transmissão de dados a longas distâncias com baixo consumo de energia, ideal para aplicações em áreas rurais extensas (Teixeira e Almeida, 2017).

Neste contexto, este trabalho, feito em colaboração com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e a ser implementado em uma fazenda localizada na região de Passo Fundo, tem como objetivo desenvolver e implementar um sistema de monitoramento das variáveis atmosféricas críticas para a cultura do trigo. Utilizando uma Estação Meteorológica equipada com sensores específicos e um sensor de umidade do solo de três níveis, o sistema integra tecnologias de IoT e utiliza a plataforma Node-RED para o processamento e visualização dos dados, além de um bot no Telegram para interação e notificações aos usuários.

Material e Métodos

Neste projeto, o primeiro passo foi identificar e monitorar as variáveis-chave que influenciam o crescimento eficiente do trigo, especificamente temperatura, umidade do ambiente, umidade do solo, precipitação, velocidade do vento, radiação, pressão atmosférica e luminosidade. Para atingir esse objetivo, foi decidido utilizar uma Estação Meteorológica Khomp (Figura 1), equipada com sensores capazes de coletar dados precisos dessas variáveis essenciais, junto com ela, foi utilizado um sensor de 3 níveis da umidade do solo

Figura 1 – Estação meteorológica Khomp



Para garantir o funcionamento contínuo da estação meteorológica na cultura foi implementado um sistema de alimentação autônomo. Composto por uma bateria de 12V e 5Ah (Figura 2), recarregada por um painel solar (Figura 3) conectado ao Controlador de Carga PWM Off Grid ECP 1024 da Intelbras (Figura 4). O controlador de carga não apenas gerencia o processo de carregamento da bateria, ele também evita sobrecargas e descargas profundas, além disso alimenta o sistema de transmissão de dados, assegurando a operação contínua dos dispositivos.

Figura 2 – Bateria 12v
5Ah



Figura 3 – Painel Solar

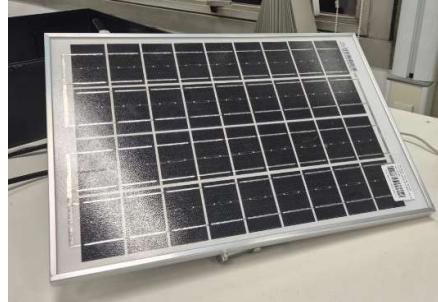


Figura 4 - Controlador de
Carga PWM Off Grid
ECP 1024



O sistema de transmissão é constituído por um NIT 21 L e um ITS 3G da Khomp (Figura 5), responsáveis por coletar os dados dos sensores da estação meteorológica e transmiti-los. O NIT 21 L atua como um concentrador de dados, recebendo as informações dos sensores e as preparando para a transmissão. O ITS 3G, por sua vez, é um módulo de comunicação que utiliza a tecnologia LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) para transmitir os dados de forma eficiente com baixo consumo de energia.

O protocolo LoRaWAN é especialmente adequado para aplicações de Internet das Coisas (IoT) em ambientes agrícolas, pois permite a comunicação de longa distância com robustez e confiabilidade.

Figura 5 – O ITS 3G a esquerda e o NIT 21 L a direita.



Todos os componentes da estação meteorológica foram integrados e acomodados dentro de uma caixa hermética, garantindo sua proteção contra as condições de campo. (Figura 6)

Figura 6 – Caixa Plástica Hermética com todos os componentes dentro



Para receber as transmissões dos dados enviados pelo sistema de transmissão, foi utilizado um gateway Kerlink Wirnet iStation 923 (Figura 7). O gateway atua como uma ponte entre os dispositivos de campo (*endpoints*) e a infraestrutura de rede, recebendo os dados via LoRaWAN e os enviando para o Network Server do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT). O Wirnet iStation 923 é projetado para operação em ambientes externos, com alta resistência a condições climáticas adversas, o que o torna adequado para aplicações agrícolas como culturas de trigo.

Figura 7 – Gateway Kerlink Wirnet iStation 923



Durante a configuração do sistema, enfrentou-se desafios relacionados à compatibilidade entre os dispositivos e a infraestrutura de rede existente. O endpoint, conjunto NIT 21 L e ITS 3G, estava configurado para transmitir dados exclusivamente no modo Over-

The-Air Activation (OTAA). No entanto, o servidor de rede inicialmente não suportava o método OTAA, o que impedia a comunicação entre o *endpoint* e o gateway.

Para solucionar esse problema, foram realizadas diversas reuniões com a empresa Khomp e foi explorado duas alternativas principais: atualizar o servidor de rede para suportar o método OTAA ou modificar o firmware do endpoint para permitir a transmissão via ABP (Activation By Personalization), um método de ativação mais simples, porém menos seguro. Foi decidido atualizar o servidor de rede, implementando o ChirpStack, uma solução de servidor de rede LoRaWAN de código aberto que oferece suporte completo ao método OTAA e ampla compatibilidade com diferentes dispositivos e gateways.

Além disso, foi identificado que o gateway Kerlink Wirnet iStation 923 necessitava de configurações adicionais para se comunicar corretamente com o novo servidor de rede. Foi configurado os parâmetros de rede de acordo com as especificações do ChirpStack. Isso incluiu a definição das frequências de operação, credenciais de acesso e ajustes de segurança para garantir uma comunicação segura e eficiente entre os dispositivos.

Para complementar a coleta de dados atmosféricos, foi incorporado ao sistema um sensor de umidade do solo de três níveis, conforme descrito em Desenvolvimento de Sensor de Umidade para Agricultura de Precisão (Barros et al., 2020). Inicialmente, se teve diversos problemas com a degradação do sensor devido à exposição prolongada à água e às condições ambientais, o que afetou a precisão das medições. Ao inspecionar um dos sensores antigos, foi percebido que o problema estava na desconexão dos fios dos pontos de solda aos anéis, causada pela degradação das conexões.

Para resolver esse problema, os sensores foram reconstruídos refazendo os anéis de aço inoxidável (Figura 8), melhorando sua durabilidade. Além disso, foi utilizado um cabo PP (Polipropileno), que possui uma capa de borracha sólida, proporcionando maior resistência à umidade e aos elementos externos. Os pontos de solda entre os fios e os anéis foram substituídos por parafusos e terminais tipo olhal com porcas (Figura 9), garantindo conexões mecânicas mais robustas. Além disso, foi aplicado resina epóxi para selar as aberturas, evitando a entrada de água e a corrosão dos componentes. Essas melhorias asseguraram a integridade das conexões elétricas e devem aumentaram a vida útil do sensor em campo.

Figura 8 – Anéis de aço



Figura 9 – Conexão mecânica de parafuso, porca e olhal que fica dentro do sensor



Após implementar as melhorias em todos os módulos dos sensores, o sistema foi remontado (Figura 10), assegurando seu pleno funcionamento e reduzindo a necessidade de manutenção.

Figura 10 – Sensor Completo



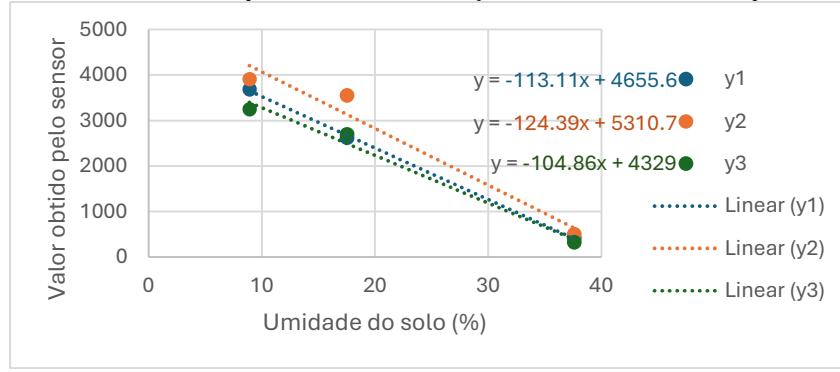
A calibração do sensor reconstruído foi realizada utilizando uma balança de umidade por infravermelho (Figura 11), que permite determinar com precisão o teor de umidade de amostras de solo.

Figura 11 – Balança de Umidade



Foram coletadas três amostras diferentes de solo da área de cultivo e foi medida a umidade real utilizando a balança. Em seguida, as medições foram comparadas com as leituras fornecidas pelo sensor de umidade do solo, obtendo a reta de calibração (Figura 12) para garantir a precisão dos dados coletados. Essa calibração foi feita para cada nível do sensor, para garantir precisão.

Figura 12: Valor obtido pelo sensor em função da umidade obtida pela balança.

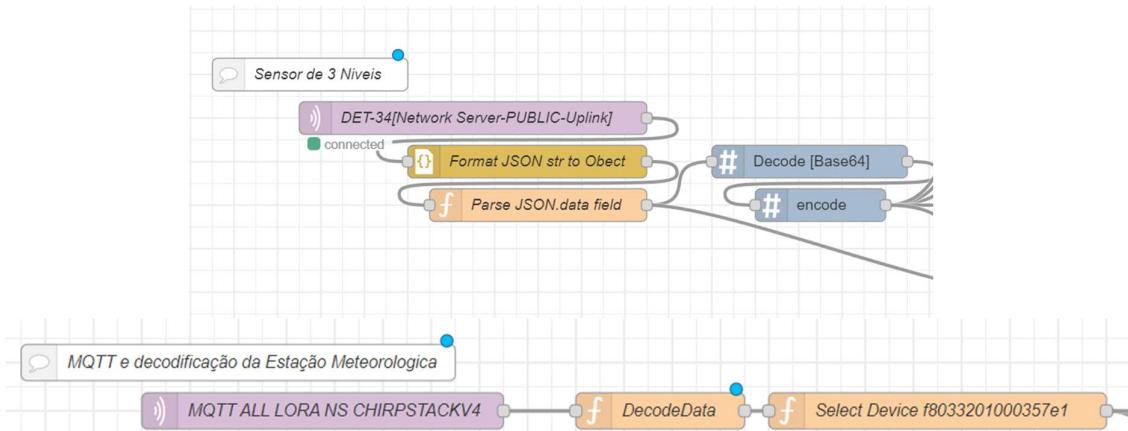


Ao fazer a calibração do sensor, percebe-se que a terra utilizada, não ultrapassa a umidade de aproximadamente 37,58%, logo o sensor foi calibrado de acordo. É importante ressaltar que está calibração apenas funciona para o solo escolhido, caso o sensor seja usado em outro solo, a calibração terá que ser refeita.

Para o processamento e visualização dos dados coletados pelos sensores, foram desenvolvidos dashboards utilizando a plataforma Node-RED, que oferece um ambiente de programação visual facilitando a integração de diferentes sistemas. Os sensores transmitem os dados via radiofrequência utilizando o protocolo LoRaWAN, que são recebidos pelo gateway e encaminhados ao servidor através do protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport). O Node-RED foi configurado para se conectar ao broker MQTT do servidor de rede do IMT e receber as mensagens dos sensores.

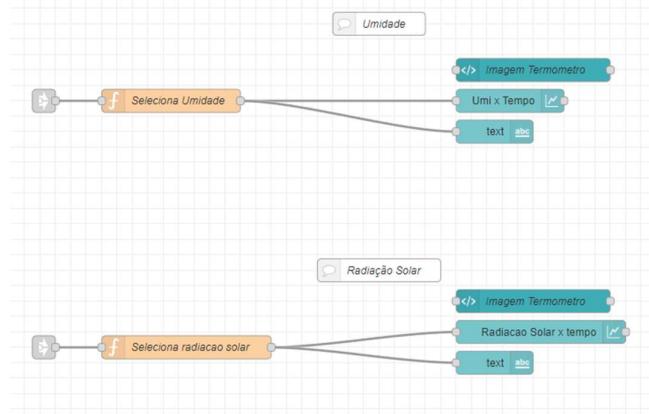
Como as mensagens enviadas pelos sensores estão em formato codificado, foram desenvolvidas funções no Node-RED para decodificar os dados e extraír as informações relevantes (Figura 13), como valores de temperatura, umidade, precipitação e luminosidade. A linguagem JavaScript foi utilizada para implementar a lógica de decodificação, considerando o formato específico das mensagens de cada sensor.

Figura 13 – Fluxo responsável por receber e decodificar a mensagens recebidas dos sensores



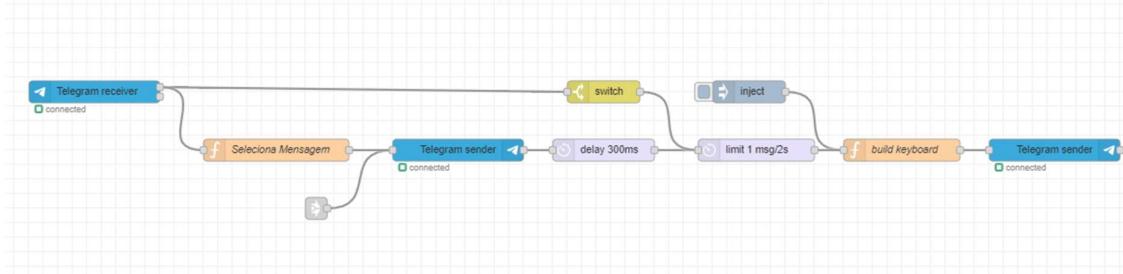
No dashboard do Node-RED, foram programado painéis interativos (Figura 14) que apresentam em tempo real os valores atuais de cada variável monitorada, além de gráficos históricos que ilustram as variações ao longo do tempo. Isso permite aos usuários acompanharem o comportamento das condições atmosféricas e do solo, facilitando a tomada de decisões relacionadas ao manejo da cultura do trigo.

Figura 14 – Flow responsável pelo painel interativo



Além dos dashboards, foi implementado um bot no Telegram utilizando o Node-RED (Figura 15), que permite aos usuários interagirem com o sistema de forma prática e imediata. Por meio do bot, é possível consultar valores específicos das variáveis monitoradas, receber alertas quando determinados parâmetros ultrapassam limites predefinidos e obter recomendações sobre ações a serem tomadas. Por exemplo, o bot pode enviar notificações quando o sensor de umidade do solo indica condições de ressecamento, alertando para a necessidade de irrigação.

Figura 15 – Flow responsável pelo bot do Telegram

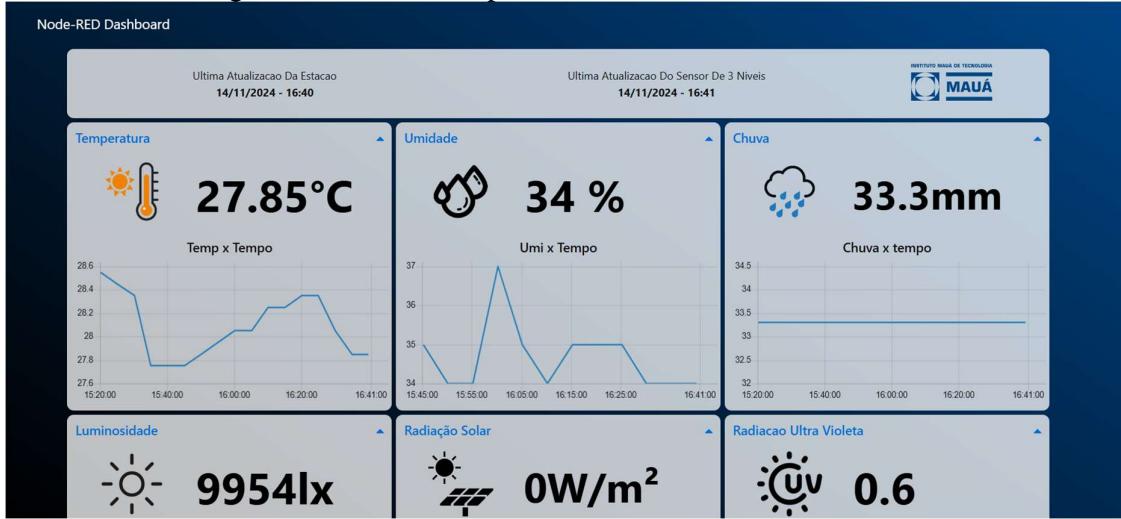


Resultados e Discussão

Este sistema estabelece uma base para futuras expansões e aprimoramentos, como a adição de novos sensores ou a integração de atuadores que permitam automatizar processos, como a irrigação inteligente. Com isso, contribui para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, alinhadas às tendências tecnológicas atuais.

A implementação do sistema de monitoramento utilizando os sensores integrados e o software Node-RED resultou na criação de um dashboard interativo, que permite aos usuários visualizarem em tempo real os dados coletados. O dashboard (Figura 16) apresenta os valores atuais de cada variável monitorada como temperatura, umidade, precipitação e luminosidade além de gráficos das últimas 24 horas para cada variável.

Figura 16 – Dashboard para o monitoramento das variáveis



A disponibilidade dessas informações em tempo real é crucial para o manejo eficiente da cultura do trigo. Ao monitorar continuamente as condições atmosféricas e do solo, os agricultores podem tomar decisões mais assertivas sobre irrigação, fertilização e outras práticas agronômicas. Por exemplo, ao detectar níveis baixos de umidade no solo, é possível programar a irrigação no momento ideal, evitando o estresse hídrico das plantas e otimizando o uso da água.

Para ampliar o sistema, foi desenvolvido um bot no Telegram integrado ao Node-RED. Esse bot permite que os usuários consultem rapidamente variáveis específicas por meio de mensagens, sem a necessidade de acessar o dashboard (Figura 17). Além disso, o bot envia notificações automáticas quando determinados parâmetros ultrapassam limites predefinidos, como níveis críticos de umidade do solo (Figura 18). Essa funcionalidade é especialmente útil para alertar os usuários sobre condições que exigem ação imediata.

Figura 17 – Sistema de consulta de variáveis pelo bot de Telegram



Figura 18 – Sistema de Alerta pelo bot do Telegram



Conclusões

O sistema desenvolvido não apenas atende às necessidades atuais de monitoramento, mas também oferece uma base para futuras expansões. Há espaço para adicionar novos sensores, como de nutrientes do solo ou detecção de pragas, ampliando o escopo do monitoramento e permitindo uma gestão ainda mais precisa da cultura. Além disso, é possível integrar mecanismos automatizados, como sistemas de irrigação inteligentes que sejam acionados automaticamente quando os sensores indicarem condições de seca. Após a irrigação,

o sistema pode atualizar os dados de umidade do solo e fornecer feedback ao usuário, fechando o ciclo de controle e permitindo ajustes em tempo real.

Comparado a métodos tradicionais de monitoramento, o sistema proposto oferece vantagens em termos de eficiência, precisão e economia de recursos. A automação dos processos reduz a necessidade de intervenções manuais frequentes, diminui a possibilidade de erros humanos e libera tempo para que os agricultores se concentrem em outras atividades estratégicas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil (equipamentos obtidos por meio do Processo FAPESP nº 2024/01308-3) e com bolsa de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia.

Referências Bibliográficas

Alomari, D. Z.; Schierenbeck, M.; Alqudah, A. M.; Alqahtani, M. D.; Wagner, S.; Rolletschek, H.; Borisjuk, L.; Röder, M. S. Wheat grains as a sustainable source of protein for health. *Nutrients*, 15(20), 4398, 2023. DOI: 10.3390/nu15204398.

Barros, R. M.; Coelho, A. D.; Assis, W. de O.; Martins, F. de A. Desenvolvimento de Sensor de Umidade para Agricultura de Precisão. 2021.

Farooq, M. S.; Riaz, S.; Abid, A.; Abid, K.; Naeem, M. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming, 2019. IEEE Xplore.

Guarienti, E.M. Efeito de variáveis meteorológicas na qualidade industrial de trigo 2001. 240f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, São Paulo, 2001.

Maia, Rodrigo & Netto, Ibrahim & Tran, Anh. (2017). Precision agriculture using remote monitoring systems in Brazil. 1-6. 10.1109/GHTC.2017.8239290.

Teixeira, G. B.; Almeida, J. V. P.. “Rede LoRa e Protocolo LoraWan Aplicados na Agricultura de Precisão no Brasil” Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.