



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Departamento de Engenharia Mecânica

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento climático para pequenas hortas com Arduino e Python integrado ao Power Bi

Matheus Barbosa Muniz

Ilha Solteira
2026

Matheus Barbosa Muniz

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento climático para pequenas hortas com Arduino e Python integrado ao Power Bi

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Ruis Camargo Tokimatsu

Ilha Solteira
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M966d Muniz, Matheus Barbosa.
Desenvolvimento de um sistema de monitoramento climático para
pequenas hortas com Arduino e Python integrado ao Power BI / Matheus
Barbosa Muniz. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
80 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2026

Orientador: Ruis Camargo Tokimatsu

Inclui bibliografia

1. Arduino. 2. Monitoramento climático. 3. Agricultura familiar. 4. IOT. 5.
Power BI.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

TÍTULO: Desenvolvimento de um sistema de monitoramento climático para pequenas hortas com **Arduino** e **Python** integrado ao **Power Bi**.

ALUNO: Matheus Barbosa Muniz

RA: 182053865

Orientador: Prof. Ruís Camargo Tokimatsu

Aprovado (X) – Reprovado () pela Comissão Examinadora

Nota obtida: 9,0(nove)

Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente
RUIS CAMARGO TOKIMATSU
Data: 13/05/2026 15:21:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ruís Camargo Tokimatsu
Presidente (Orientador)



Documento assinado digitalmente
MARCIO ANTONIO BAZANI
Data: 13/05/2026 16:08:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Márcio Antonio Bazani



Documento assinado digitalmente
WYSER JOSE YAMAKAMI
Data: 15/05/2026 10:06:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Wyser José Yamakami

Matheus Barbosa Muniz



Documento assinado digitalmente
MATHEUS BARBOSA MUNIZ
Data: 13/05/2026 15:15:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Aluno

Ilha Solteira (SP) 27 de abril de 2026.

*Dedico este trabalho aos meus familiares,
principalmente minha mãe,irmã e tia, pelo
apoio, incentivo e compreensão ao longo de
toda a minha trajetória acadêmica.*

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão durante toda a minha trajetória acadêmica.

À Coordenadoria de Permanência Estudantil (COPE) da UNESP, que possibilitou, por meio de seu suporte, a idealização e continuidade deste trabalho.

Ao movimento estudantil, por proporcionar uma formação crítica e ampliar minha visão sobre temas relevantes para a população trabalhadora e rural.

Ao meu orientador, pela orientação, paciência e ensinamentos fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Aos professores da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, pelos conhecimentos transmitidos ao longo da graduação.

Aos meus colegas da turma 18/2, que estiveram presentes ao longo de toda a minha trajetória acadêmica, compartilhando desafios e conquistas.

Aos grupos Solidarisa e ao Centro Acadêmico Ozires Silva, que foram de suma importância para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos colegas e amigos, pelo apoio, troca de experiências e incentivo durante essa jornada.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento climático de baixo custo para pequenas hortas e agricultura familiar, utilizando a plataforma Arduino integrada ao Python e Power BI. O projeto justifica-se pela necessidade de democratizar o acesso à agricultura de precisão para produtores que não possuem infraestruturas complexas, como estufas. A fundamentação do estudo aborda o contexto da agricultura urbana na macrometrópole paulista, destacando a importância histórica da imigração japonesa e a relevância de movimentos sociais como o MST na produção de alimentos orgânicos.

Foram monitoradas variáveis fundamentais — temperatura do ar, umidade relativa do ar e umidade do solo — através de sensores DHT11 e higrômetros capacitivos. O experimento foi realizado em Itapevi-SP, focando-se no cultivo da *Phyllanthus niruri* (quebra-pedra) durante 11 semanas. Os resultados demonstraram a eficácia do sistema na coleta de dados em tempo real, permitindo a identificação de padrões microclimáticos e a prevenção de stresse hídrico. A utilização de dashboards dinâmicos facilitou a interpretação dos dados e a gestão da irrigação, comprovando ser uma ferramenta viável para a otimização do manejo agrícola e a promoção da sustentabilidade através da engenharia aplicada à sociedade.

Palavras-chave: Arduino. Monitoramento Climático. Agricultura Familiar. IoT. Power BI.

Abstract

This study presents the development of a low-cost climate monitoring system for small-scale gardens and family farming, using the Arduino platform integrated with Python and Power BI. The project is motivated by the need to democratize access to precision agriculture technologies for producers who lack complex infrastructures, such as greenhouses. The theoretical framework addresses the context of urban agriculture in the São Paulo macrometropolis, highlighting the historical importance of Japanese immigration and the relevance of social movements like the MST in organic food production.

Fundamental variables — air temperature, relative humidity, and soil moisture — were monitored using DHT11 sensors and capacitive hygrometers. The experiment was conducted in Itapevi-SP, focusing on the cultivation of *Phyllanthus niruri* (stonebreaker) over an 11-week period. The results demonstrated the system's effectiveness in real-time data collection, allowing for the identification of microclimatic patterns and the prevention of water stress. The use of dynamic dashboards facilitated data interpretation and irrigation management, proving to be a viable tool for optimizing agricultural management and promoting sustainability through engineering applied to society.

Keywords: Arduino. Climate Monitoring. Family Farming. IoT. Power BI.

Conteúdo

1	Introdução	10
2	Objetivos	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos Específicos	11
3	Revisão da literatura	11
3.1	Agricultura de Precisão	11
3.2	Internet das Coisas (IoT) aplicada à agricultura	12
3.3	Monitoramento de variáveis ambientais e uso de sensores	12
3.4	Análise de dados na agricultura inteligente	12
3.5	Módulo Sensor de Umidade do Solo	13
3.6	Sensor DHT11	13
3.7	Arduino UNO	14
4	Metodologia Utilizada	15
4.1	Caracterização do estágio de desenvolvimento tecnológico (TRL)	16
4.2	Materiais Utilizados	17
4.3	Preparação do Protótipo	17
4.3.1	Conexão do sensor DHT11	18
4.3.2	Conexão do sensor de umidade do solo	19
4.4	Código em Arduino do protótipo	20
4.5	Calibração dos Instrumentos	20
4.6	Código em Python para coleta de dados	23
4.7	Escolha da planta para plantio e monitoramento de funcionamento do protótipo	25
4.8	Criação de um banco de dados conforme plantio	26
4.9	Desenvolvimento do DashBoard em Power Bi	26
5	Resultados Obtidos	28
5.1	Monitoramento de coleta de dados do protótipo	28
5.1.1	Semana 1	29
5.1.2	Semana 2	33
5.1.3	Semana 3	37
5.1.4	Semana 4	42
5.1.5	Semana 5	46
5.1.6	Semana 6	51
5.1.7	Semana 7	55
5.1.8	Semana 8	60
5.1.9	Semana 9	64
5.1.10	Semana 10	66
5.1.11	Semana 11	69
5.2	Análise do banco de dados obtido durante plantio	72
5.3	Análise de crescimento e desenvolvimento da planta	74
6	Conclusão	75
7	Referências bibliográficas	78

1 Introdução

A microprodução agrícola possui papel relevante no desenvolvimento econômico e social da macrometrópole paulista, sendo fortemente associada à agricultura familiar e a sistemas produtivos de pequena escala (SERVIDONE, 2025). Esse modelo de produção se consolida ao longo do tempo como uma alternativa ao agronegócio tradicional, destacando-se não apenas pela geração de renda, mas também pela sua contribuição para o abastecimento alimentar local, sustentabilidade e fortalecimento de comunidades rurais e periurbanas.

A formação desse modelo produtivo está diretamente relacionada a fatores históricos e sociais que moldaram a ocupação do território paulista ao longo do século XX. Entre esses fatores, destacam-se a imigração japonesa e os movimentos sociais ligados à reforma agrária, ambos responsáveis por impulsionar práticas agrícolas baseadas na cooperação, diversificação produtiva e organização coletiva (SERVIDONE, 2025).

A imigração japonesa no Brasil teve início em 1908, com a chegada do navio Kasato Maru ao porto de Santos, sendo inicialmente direcionada às lavouras de café no estado de São Paulo. Com o passar do tempo, esses imigrantes passaram a estabelecer núcleos agrícolas próprios, estruturados principalmente em torno de cooperativas, contribuindo significativamente para a diversificação da produção e para a consolidação da agricultura familiar no estado. Esse processo representou um marco na transição do trabalhador rural assalariado para o pequeno produtor independente, fortalecendo modelos produtivos baseados na autonomia e na organização coletiva (SERVIDONE, 2025).

Outro agente de grande relevância nesse contexto é o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), cuja origem remonta ao final da década de 1970, sendo oficialmente instituído em 1984. O movimento surge em um cenário de desigualdade no acesso à terra, propondo a reorganização do espaço agrário por meio da criação de assentamentos rurais produtivos. Atualmente, o MST reúne aproximadamente 350 mil famílias e se destaca como um dos principais produtores de alimentos orgânicos do Brasil, sendo responsável, inclusive, pela maior produção de arroz orgânico da América Latina (SERVIDONE, 2025).

Além da sua relevância social, os assentamentos do MST apresentam um modelo produtivo baseado na cooperação e na agricultura familiar, com forte inserção em cadeias locais de comercialização e abastecimento. Esses sistemas produtivos demonstram que a microprodução agrícola possui não apenas viabilidade econômica, mas também potencial para contribuir com modelos mais sustentáveis de produção e distribuição de alimentos (SERVIDONE, 2025).

Apesar da relevância desses agentes históricos e sociais, pequenos produtores ainda enfrentam limitações relacionadas ao acesso a tecnologias que auxiliem no monitoramento de variáveis ambientais. A ausência de ferramentas acessíveis dificulta o manejo adequado das culturas, impactando diretamente na produtividade, no uso eficiente de recursos naturais e na tomada de decisão no campo.

Nesse contexto, o avanço da Internet das Coisas (IoT) tem possibilitado o desenvolvimento de soluções tecnológicas de baixo custo, baseadas em microcontroladores e sensores, capazes de realizar o monitoramento contínuo de variáveis ambientais (CAPELLI, 2016; SHARMA et al., 2021). Essas tecnologias permitem a coleta, armazenamento e análise de dados em tempo real, contribuindo para a otimização de processos agrícolas, especialmente em sistemas de pequena escala e agricultura familiar (KAMIENSKI et al., 2019; ANJUM et al., 2025).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento climático aplicado a pequenas hortas, utilizando a integração entre Arduino e rotinas de aquisição de dados em Python. O projeto foi concebido a partir de visitas técnicas realizadas no município de Ilha Solteira, no período de julho a novembro de 2023, nas quais foi

identificada a demanda por soluções acessíveis voltadas ao monitoramento ambiental. Dessa forma, busca-se contribuir com a aplicação de tecnologias no contexto da agricultura familiar, promovendo maior eficiência no manejo das culturas e apoio à tomada de decisão por parte dos produtores, em alinhamento com práticas sustentáveis (ONU BRASIL, 2025).

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar um sistema de monitoramento climático aplicado a pequenas hortas, utilizando a integração entre microcontrolador Arduino e rotinas de aquisição de dados em Python, com o intuito de auxiliar na coleta, armazenamento e análise de variáveis ambientais.

2.2 Objetivos Específicos

- Implementar um sistema de aquisição de dados utilizando sensores de temperatura e umidade do ar (DHT11) e sensor de umidade do solo;
- Desenvolver rotinas em Python para leitura, armazenamento e organização dos dados coletados;
- Estruturar um banco de dados contendo informações ambientais ao longo do tempo;
- Realizar a análise dos dados coletados, identificando padrões e variações relevantes;
- Desenvolver dashboards para visualização dos dados utilizando o software Power BI;
- Avaliar a aplicabilidade do sistema como ferramenta de apoio à tomada de decisão no manejo de pequenas hortas.

3 Revisão da literatura

3.1 Agricultura de Precisão

A Agricultura de Precisão (AP) tem como objetivo otimizar o uso de insumos agrícolas por meio da análise detalhada das condições do ambiente de cultivo, como solo, clima e necessidades específicas das plantas. Essa abordagem permite a aplicação mais eficiente de recursos como água, fertilizantes e defensivos, contribuindo para o aumento da produtividade e redução de impactos ambientais (SHARMA et al., 2021).

Com o avanço das tecnologias digitais, a AP passou a incorporar ferramentas como sensores, sistemas de posicionamento global (GPS) e análise de dados, permitindo uma tomada de decisão mais assertiva. Nesse contexto, a utilização de sensores para monitoramento de variáveis ambientais, como temperatura e umidade, se torna essencial para compreender o comportamento do solo e das plantas ao longo do tempo.

Além disso, a crescente demanda por alimentos, associada às mudanças climáticas e à limitação de recursos naturais, reforça a necessidade de adoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Dessa forma, a Agricultura de Precisão se apresenta como uma alternativa viável para pequenos e grandes produtores, possibilitando maior controle sobre o processo produtivo.

3.2 Internet das Coisas (IoT) aplicada à agricultura

A Internet das Coisas (IoT) tem se consolidado como uma das principais tecnologias aplicadas à agricultura inteligente, permitindo a conexão entre dispositivos e a coleta contínua de dados em tempo real. Na agricultura, sensores IoT são amplamente utilizados para monitorar variáveis como umidade do solo, temperatura e umidade do ar, fornecendo informações relevantes para a tomada de decisão (KAMIENSKI et al., 2019).

A aplicação da IoT possibilita uma maior eficiência no gerenciamento dos cultivos, especialmente no controle da irrigação, que representa uma parcela significativa do consumo de água na agricultura. Estima-se que cerca de 70% da água doce disponível no mundo seja utilizada na agricultura, o que evidencia a importância de sistemas que otimizem esse uso.

Além disso, a análise dos dados coletados por sensores permite identificar padrões e tendências, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de cultivo. Mesmo em sistemas de menor escala, como hortas experimentais, a utilização de sensores conectados possibilita um monitoramento contínuo e detalhado das condições ambientais.

3.3 Monitoramento de variáveis ambientais e uso de sensores

O monitoramento de variáveis ambientais é um dos pilares da agricultura inteligente, sendo fundamental para compreender a dinâmica entre solo, clima e desenvolvimento das plantas. Sensores de baixo custo, como o DHT11 (temperatura e umidade do ar) e sensores de umidade do solo, têm sido amplamente utilizados em projetos experimentais e aplicações práticas devido à sua acessibilidade e facilidade de integração com plataformas como o Arduino.

Esses sensores permitem a coleta contínua de dados, possibilitando a análise do comportamento das variáveis ao longo do tempo. A partir desses dados, é possível observar relações importantes, como a influência da temperatura e da umidade do ar na evapotranspiração e na retenção hídrica do solo.

Além disso, o uso de plataformas microcontroladas, como o Arduino, facilita a implementação de sistemas automatizados de monitoramento, permitindo não apenas a coleta, mas também o armazenamento e a análise dos dados. Essa abordagem torna viável a aplicação de conceitos da agricultura de precisão em contextos de baixo custo e pequena escala.

3.4 Análise de dados na agricultura inteligente

A análise de dados desempenha um papel fundamental na agricultura inteligente, permitindo transformar informações coletadas em conhecimento útil para a tomada de decisão. A partir da análise temporal dos dados, é possível identificar padrões de comportamento das variáveis ambientais, como ciclos diários de temperatura e variações na umidade do solo.

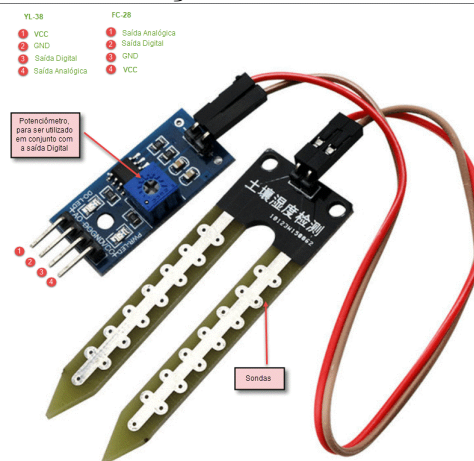
Estudos apontam que a utilização de dados em tempo real pode auxiliar na otimização de práticas agrícolas, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência produtiva (ANJUM et al., 2025). No contexto deste trabalho, a análise dos dados coletados pelos sensores permite compreender a relação entre as condições climáticas e o desenvolvimento da planta, possibilitando ajustes nas práticas de irrigação.

Dessa forma, a integração entre sensores, coleta de dados e análise constitui um dos principais fundamentos da agricultura inteligente, permitindo a implementação de soluções acessíveis e eficientes para o monitoramento e controle de cultivos.

3.5 Módulo Sensor de Umidade do Solo

O sensor de umidade do solo é um dispositivo desenvolvido para detectar variações na umidade presente no solo. Seu funcionamento baseia-se na condutividade elétrica do meio, pois solos mais úmidos apresentam menor resistência elétrica, enquanto solos secos apresentam maior resistência. O módulo sensor de umidade do solo geralmente conta com duas opções de saída: digital (D0) e analógica (A0). A saída digital pode ser ajustada via potenciômetro para definir um limite entre solo seco e úmido, enquanto a saída analógica permite uma leitura mais precisa do nível de umidade quando conectada a um conversor analógico-digital (ADC), como o presente em microcontroladores como o Arduino. Fisicamente, o sensor é composto por uma sonda metálica que entra em contato direto com o solo, coletando os dados necessários, e uma placa de circuito impresso (PCB) responsável pelo processamento e transmissão das informações. Além disso, possui indicadores LED que auxiliam na visualização do status de funcionamento do dispositivo. A integração desse sensor em sistemas baseados em Internet das Coisas (IoT) e automação agrícola tem se tornado cada vez mais comum, permitindo um controle remoto eficiente da irrigação, reduzindo custos operacionais e melhorando a produtividade. Seu uso se destaca não apenas em grandes lavouras, mas também em pequenos jardins domésticos e projetos acadêmicos, demonstrando sua versatilidade e aplicabilidade.

Figura 1: Ilustração sensor Umidade do solo.

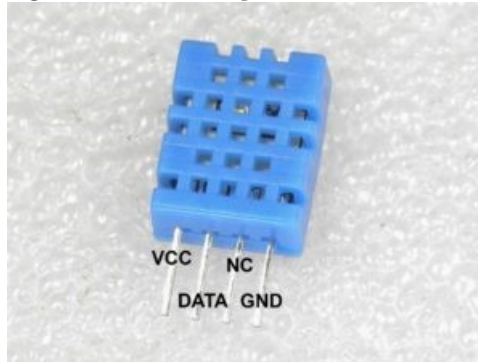


Fonte: <https://blog.eletragate.com>. Acesso em 15 agosto de 2024.

3.6 Sensor DHT11

A umidade do ar corresponde à quantidade de vapor de água presente na atmosfera e é um fator essencial na previsão do tempo, influenciando a ocorrência de chuvas. Quando a umidade é alta, a probabilidade de precipitação aumenta, enquanto níveis baixos dificultam a formação de chuvas. Além disso, em dias quentes, uma umidade elevada intensifica a sensação térmica, pois reduz a eficácia da transpiração, dificultando o resfriamento do corpo. Segundo a OMS, níveis abaixo de 20% podem representar riscos à saúde, causando desidratação. O sensor utilizado para medir a umidade é do tipo capacitivo, enquanto a temperatura é captada por um termistor NTC, um resistor sensível a variações térmicas. Ambos os sensores possuem um microcontrolador interno responsável por processar as medições e transmitir os valores digitalmente através de um pino de saída.

Figura 2: Ilustração sensor DHT11.

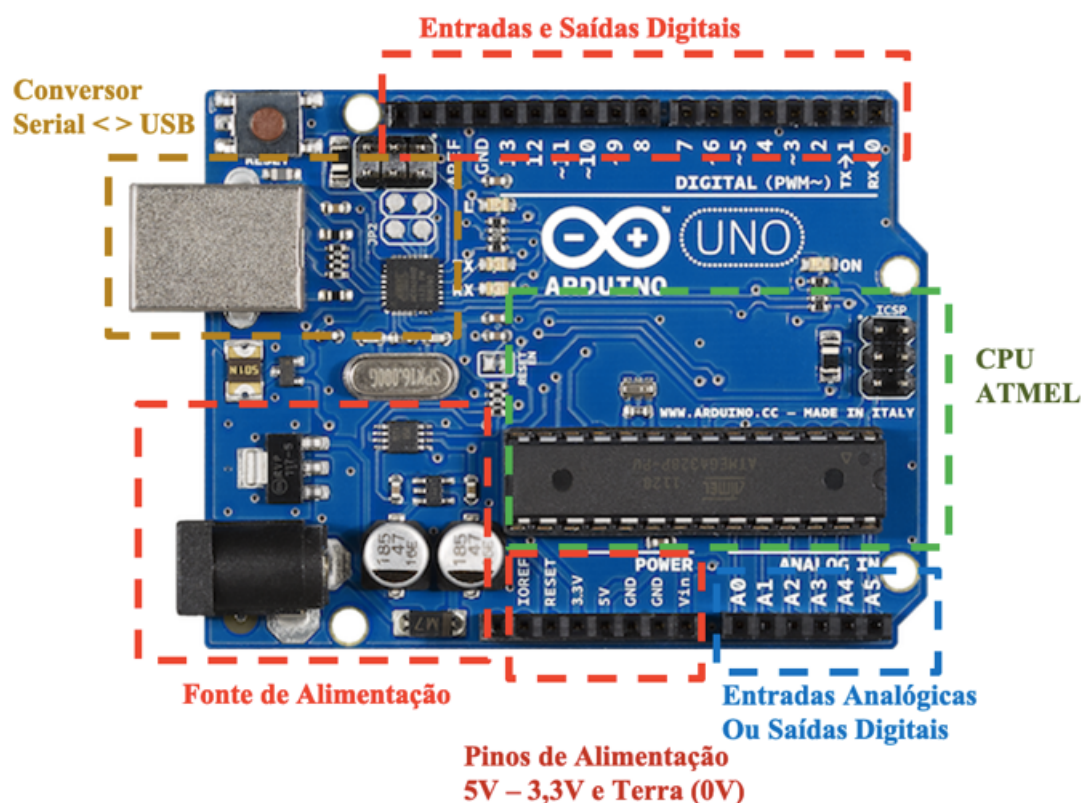


Fonte: <https://blog.eletrogate.com>. Acesso em 15 agosto de 2024.

3.7 Arduino UNO

A estrutura do Arduino Uno conta com diversos componentes essenciais para seu funcionamento. O microcontrolador ATmega328P é responsável por processar os códigos carregados na memória e controlar os dispositivos conectados. Ele opera a uma frequência de 16 MHz, possui 32 KB de memória Flash para armazenar o código do usuário, 2 KB de SRAM para o processamento das variáveis e 1 KB de EEPROM para armazenamento de dados permanentes. Além disso, a placa conta com 14 pinos digitais, sendo que 6 podem ser usados como saídas PWM, e 6 pinos analógicos, que permitem a leitura de sensores que captam variações graduais, como temperatura e umidade. A programação do Arduino é feita por meio da Arduino IDE, um ambiente de desenvolvimento que permite escrever e carregar códigos na placa usando a linguagem C/C++. A comunicação com o computador ocorre através da porta USB, que também serve para alimentar o dispositivo. Para casos em que seja necessário operar de forma independente, a placa pode ser alimentada externamente com tensões entre 7V e 12V, sendo reguladas internamente para 5V. O funcionamento do Arduino Uno segue um fluxo sequencial, dividido em três etapas principais. Primeiro, os sensores conectados à placa enviam informações através dos pinos de entrada. Essas informações são processadas pelo microcontrolador, que toma decisões com base no código programado. Por fim, os resultados do processamento são enviados para os pinos de saída, acionando dispositivos como LEDs, motores, displays e relés.

Figura 3: Ilustração Arduino UNO.



Fonte: Fonte: SILVATRO-NICS, 2018

4 Metodologia Utilizada

Para o desenvolvimento do protótipo proposto, voltado ao monitoramento climático em pequenas hortas — conforme contextualizado na introdução deste trabalho —, foi inicialmente necessário definir as grandezas físicas mais relevantes a serem mensuradas pelo sistema. Considerando a influência direta das condições ambientais no desenvolvimento das culturas, optou-se pelo monitoramento da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da umidade do solo, variáveis fundamentais para a gestão eficiente da irrigação e do cultivo.

A obtenção desses dados é realizada por meio da integração de sensores ao microcontrolador Arduino UNO. O sensor DHT11 é responsável pela medição da temperatura e da umidade do ar, conforme previamente apresentado, enquanto o módulo sensor de umidade do solo realiza a leitura das condições hídricas do substrato. Essa combinação de sensores permite a coleta contínua de dados ambientais, viabilizando a análise do comportamento das variáveis monitoradas ao longo do tempo.

Dessa forma, o sistema desenvolvido se insere no contexto de soluções baseadas em Internet das Coisas (IoT), possibilitando não apenas a aquisição de dados, mas também sua posterior análise e aplicação prática no auxílio à tomada de decisão em pequenas hortas, especialmente em cenários onde não há monitoramento automatizado.

A partir da definição dessas variáveis e da estrutura inicial do sistema, torna-se possível avançar para a análise do estágio de desenvolvimento tecnológico do projeto, conforme apresentado na seção a seguir.

4.1 Caracterização do estágio de desenvolvimento tecnológico (TRL)

Em etapa anterior ao desenvolvimento experimental do protótipo, o projeto foi submetido a um Diagnóstico de Maturidade Tecnológica promovido pelo SEBRAE, no âmbito do programa SPARK CAMP, período em que a solução ainda se encontrava em fase de concepção inicial. O sistema, intitulado *Sistema Inteligente de Irrigação e Controle Climático para Hortas*, foi classificado em nível inicial de maturidade tecnológica, correspondente aos primeiros estágios da escala TRL (*Technology Readiness Level*), indicando que o desenvolvimento se encontrava predominantemente em fase conceitual.

Os resultados do diagnóstico evidenciaram a necessidade de avanços técnicos para a evolução do projeto, destacando-se a implementação de um protótipo funcional, a validação dos sensores empregados e a realização de ensaios experimentais em ambiente controlado, caracterizando a etapa de prova de conceito. Tais recomendações foram fundamentais para a definição da metodologia adotada neste trabalho, orientando a seleção dos componentes eletrônicos, a construção do protótipo físico, a estruturação do sistema de aquisição de dados e o processo de calibração dos instrumentos de medição.

Através de um formulário preenchido com informações referente ao projeto observou-se os seguintes resultados para a maturidade tecnológica do projeto:

Figura 4: Maturidade Tecnológica por Dimensão.

Dimensão	Nota	Nível
Tecnologia	1,35	Inicial
Mercado	1,48	Inicial
Gestão	0,99	Inicial
Estratégia	1,49	Inicial
Pessoas	1,79	Novato
Processo Produtivo	1,25	Inicial
Legenda	0 a 1,65	Inicial
	1,66 a 2,50	Novato
	2,51 a 3,35	Intermediário
	3,36 a 4,15	Avançado
	4,16 a 5,00	Experiente

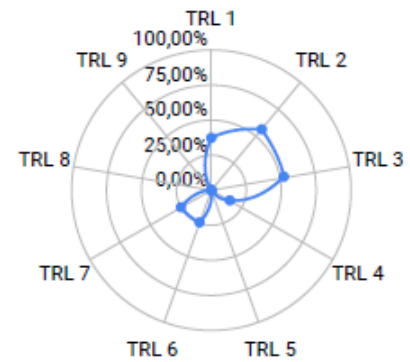


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT CPIO - Coordenadoria de Programas, Inovação e IPT Open 07/08/2024

A partir das informações apresentadas sobre o projeto, foram elaboradas recomendações para cada dimensão analisada, as quais, se implementadas, contribuem para a elevação do Nível de Maturidade Tecnológica (NMT) do sistema. Na sequência, foi realizada a avaliação do Nível de Prontidão Tecnológica (TRL), permitindo o enquadramento do projeto quanto ao seu estágio de desenvolvimento tecnológico.

Figura 5: Nível de prontidão tecnológica.

TRL	AVALIAÇÃO
TRL 1	37,50%
TRL 2	56,15%
TRL 3	52,27%
TRL 4	15,00%
TRL 5	0,00%
TRL 6	25,00%
TRL 7	25,00%
TRL 8	0,00%
TRL 9	0,00%



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT CPIO - Coordenadoria de Programas, Inovação e IPT Open 07/08/2024

No Quadro acima estão registradas as assertivas relacionadas aos níveis de Prontidão Tecnológica (TRL), se implementadas, possibilitam a evolução do produto para níveis mais elevados de maturidade tecnológica, com vistas à consolidação do sistema e à sua posterior disponibilização ao mercado-alvo.

4.2 Materiais Utilizados

Para o protótipo em questão utilizou-se os seguintes componentes:

- Uma placa arduino UNO;
- Um sensor de umidade e temperatura DHT11;
- Um módulo sensor de umidade do solo;
- Oito jumpers, sendo três macho-fêmea, três macho-macho e dois fêmea-fêmea;
- Uma Caixa PLC vermelha com tampa para comportar os componentes e os sensores;
- Protoboard para instalação do DHT11;
- 4 Parafusos 3mm de diâmetro;
- Um vaso para plantas de polipropileno com dimensão: 495x185x167mm
- Um cabo USB 2.0 - A/B 5m

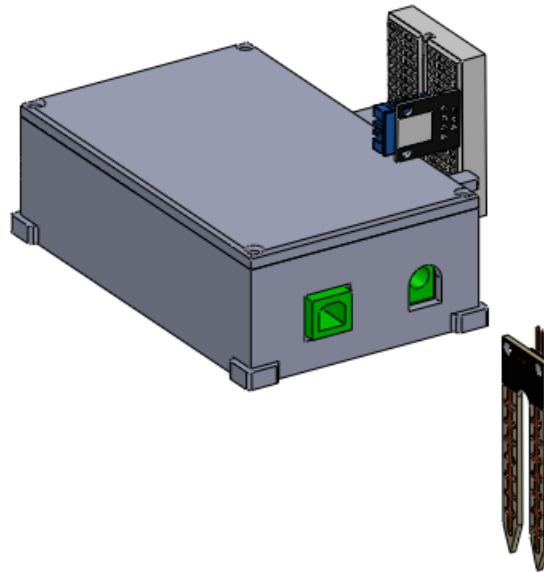
4.3 Preparação do Protótipo

Com o objetivo de complementar a descrição da montagem física do circuito e facilitar a visualização da estrutura do sistema desenvolvido, foi elaborado um modelo tridimensional do protótipo utilizando o software SolidWorks. A modelagem em ambiente CAD permitiu visualizar de forma esquemática a disposição dos principais componentes do sistema, como a caixa de proteção, os sensores utilizados (DHT11 e sensor de umidade do solo), a protoboard e os elementos de fixação, possibilitando uma análise prévia do arranjo físico e da organização do

conjunto antes e durante a montagem do protótipo real. No modelo tridimensional desenvolvido, as conexões elétricas entre os componentes não foram representadas. Essa escolha foi feita com o objetivo de tornar a visualização mais clara e organizada, destacando os aspectos mecânicos e estruturais do protótipo. As interligações elétricas, bem como os detalhes das conexões de alimentação e sinal, são descritas textualmente ao longo deste trabalho.

Podemos ver a ilustração do protótipo desenvolvido em Solid Works a seguir:

Figura 6: Protótipo da caixa de proteção em Solid Works.



Fonte: Próprio Autor

A montagem do circuito foi realizada com o objetivo de integrar dois sensores distintos ao microcontrolador Arduino UNO: o sensor DHT11, utilizado para medir a umidade relativa do ar e a temperatura, e o sensor de umidade do solo, composto por uma sonda e um módulo eletrônico com saída analógica. Enquanto que o sensor DHT11 foi conectado à protoboard por ausência de entrada de alimentação de 5V o módulo do sensor de solo foi conectado de forma semelhante.

A alimentação do circuito foi feita diretamente a partir da porta USB do computador, conectada ao Arduino UNO por meio de um cabo USB tipo A/B. Esta conexão fornece uma tensão de 5V, que é redistribuída para os sensores por meio da protoboard, para isso, o pino de 5V do Arduino foi conectado ao trilho positivo da protoboard, enquanto o pino GND (terra) foi conectado ao trilho negativo. Esses trilhos funcionam como linhas principais de distribuição de energia, facilitando o acesso à alimentação pelos dois sensores do circuito. O uso da alimentação de 5V é essencial, pois tanto o DHT11 quanto o módulo de umidade do solo operam dentro dessa faixa de tensão.

4.3.1 Conexão do sensor DHT11

O DHT11 é um sensor digital que possui três pinos principais: VCC, DATA e GND. Sua conexão foi realizada da seguinte forma:

1. O pino VCC do sensor foi conectado ao trilho positivo da protoboard utilizando um jumper do tipo macho-macho, garantindo a alimentação de 5V proveniente do Arduino.
2. O pino GND foi interligado ao trilho negativo da protoboard por meio de um jumper macho-macho, assegurando o correto fechamento do circuito e o compartilhamento do referencial de terra entre os componentes.
3. O pino DATA, responsável pela transmissão dos dados de temperatura e umidade, foi conectado à porta digital D2 do Arduino UNO utilizando um jumper do tipo macho-macho, permitindo a comunicação entre o sensor e o microcontrolador de forma adequada.

A escolha de uma porta digital se dá pelo fato de que o DHT11 envia seus dados em forma de pulsos digitais, os quais são interpretados por meio de bibliotecas específicas no Arduino, como a *DHT.h*.

4.3.2 Conexão do sensor de umidade do solo

O sensor de umidade do solo utilizado é composto por uma sonda metálica e um módulo eletrônico com um comparador de tensão. O módulo possui quatro pinos: VCC, GND, D0 (saída digital) e A0 (saída analógica). Neste projeto, optou-se por utilizar apenas a saída analógica (A0), pois ela permite medir o nível de umidade do solo de forma contínua e precisa, com valores que variam de 0 a 1023, conforme a quantidade de água presente no solo, as conexões foram realizadas da seguinte forma:

1. O pino VCC do módulo foi conectado ao trilho positivo da protoboard utilizando um jumper do tipo macho-fêmea, garantindo a alimentação de 5V proveniente do Arduino.
2. O pino GND foi interligado ao trilho negativo da protoboard por meio de um jumper macho-fêmea, assegurando o correto fechamento do circuito e o compartilhamento do referencial de terra.
3. O pino A0, responsável pela saída analógica do sensor, foi conectado à porta analógica A0 do Arduino UNO utilizando um jumper do tipo macho-Fêmea, permitindo a leitura do sinal analógico gerado pelo sensor.
4. Os dois conectores fêmea-fêmea foram responsáveis por conectar o sensor de umidade do solo através da placa de circuito impresso PCB

A escolha por uma entrada analógica se deve à natureza do sinal gerado por esse sensor, que representa variações graduais na umidade. Já a porta digital D0, que também está disponível no módulo, envia um sinal binário (alto ou baixo) conforme um limite de umidade pré-definido no trimpot do módulo, mas não foi utilizada nesta montagem.

Com todos os componentes devidamente conectados à protoboard e ao Arduino, a leitura dos sensores é realizada através da programação da placa, utilizando a IDE do Arduino. O microcontrolador lê o sinal analógico da porta A0, correspondente ao sensor de umidade do solo, e o sinal digital da porta D2, proveniente do DHT11. Esses dados são processados e são enviados via comunicação serial para um computador onde os dados são salvos em uma planilha do Excel, onde são armazenados, posteriormente os dados são analisados e salvos em um banco de dados, a conexão de todos os GNDs (tanto dos sensores quanto do Arduino) ao mesmo trilho negativo garante que todo o sistema compartilhe o mesmo referencial de terra.

Após todas as conexões serem realizadas no protótipo, como a alimentação via cabo usb o mesmo é fechado utilizando a tampa e os quatro parafusos.

4.4 Código em Arduino do protótipo

O código-fonte desenvolvido realiza a leitura da Umidade do solo, temperatura do ar e umidade do ar, fazendo a aferição dessas variáveis em tempo real, fornecendo dados de fácil visualização através do Power Bi publicado posteriormente, o mesmo estará disponível no apêndice deste documento.

A primeira etapa do código consiste na inclusão da biblioteca DHT.h, essencial para a comunicação com o sensor de temperatura e umidade do ar DHT11. Esta biblioteca permite que a leitura dos dados de temperatura (em graus Celsius) e umidade relativa do ar (em porcentagem) seja feita de maneira simples. Em seguida, são feitas as definições das constantes que determinam o tipo de sensor e o pino ao qual ele está conectado. O pino digital 7 do Arduino é utilizado para a conexão do sensor DHT11, e o tipo do sensor é especificado através da constante DHTTYPE. A criação do objeto dht, a partir da biblioteca, permite que o programa utilize comandos específicos para inicializar e coletar dados do sensor.

O sensor de umidade do solo conectado ao pino analógico A0 do Arduino fornece um valor analógico proporcional ao nível de umidade presente no solo. Quanto mais seco estiver o solo, maior será o valor lido; e quanto mais úmido, menor será esse valor, considerando que o sensor trabalha com base na condutividade elétrica do solo, todavia, os dados serão analisados e transformados de forma a observar o percentual de água composto no solo, desta forma os valores representados nos gráficos mostraram em m^3/m^3 o quanto de água é composta a atual condição do solo, quanto maior o número mais úmido está o solo e quanto menor o valor mais seco está o solo.

O bloco setup() do código é responsável pela configuração inicial do sistema. Nele, é iniciado o monitor serial com uma taxa de transmissão de 9600 bauds, permitindo a comunicação entre o Arduino e o computador. Em seguida, o sensor DHT11 é iniciado através do comando dht.begin(), e o pino do sensor de umidade do solo é configurado como entrada, uma vez que ele apenas envia dados ao Arduino e não recebe comandos.

No bloco loop(), que é executado continuamente durante o funcionamento do sistema, são feitas as leituras dos dados ambientais. Primeiramente, são coletadas as informações de temperatura e umidade do ar através das funções readTemperature() e readHumidity() fornecidas pela biblioteca do DHT11. Em seguida, é realizada a leitura do valor analógico da umidade do solo por meio do comando analogRead() no pino A0.

Para garantir a confiabilidade dos dados, o código inclui uma verificação de falha na leitura dos sensores DHT. Caso os valores retornados para temperatura ou umidade sejam inválidos (do tipo “NaN”, ou seja, “Not a Number”), uma mensagem de erro é exibida no monitor serial, e a função loop() é encerrada temporariamente até a próxima iteração.

Caso os dados sejam válidos, o sistema envia os valores ao monitor serial. As informações são formatadas de forma clara: a temperatura é exibida em graus Celsius, a umidade relativa do ar em porcentagem, e o valor da umidade do solo é apresentado como um número inteiro, representando o sinal analógico lido pelo pino A0, este convertido posteriormente pelo algoritmo em python e exportado para o excel.

4.5 Calibração dos Instrumentos

Após a montagem do protótipo e os testes iniciais dos sensores DHT11 e do módulo de umidade do solo, iniciou-se o processo de calibração, com o objetivo de avaliar a confiabilidade das medições e adequar os dados à aplicação proposta.

No caso do sensor de umidade do solo, o fabricante especifica uma incerteza da ordem de $\pm 10\%$ na leitura. O sensor opera com um conversor analógico-digital (ADC) de 10 bits,

resultando em valores entre 0 e 1023, sendo que valores próximos a 1023 indicam solo seco, enquanto valores próximos a 0 representam condições de saturação hídrica.

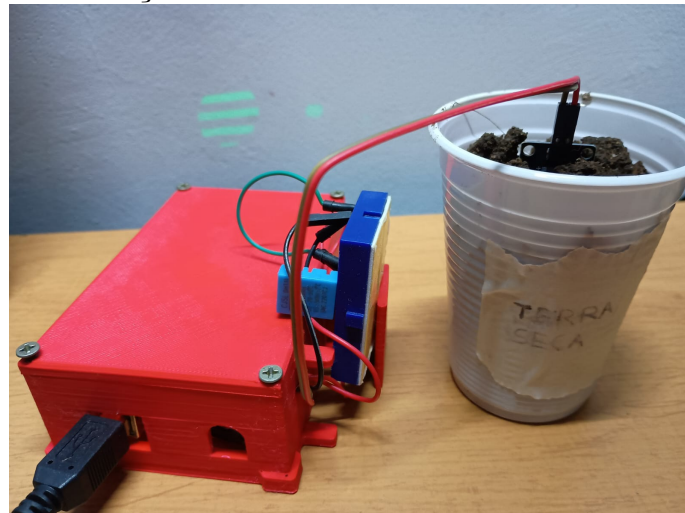
Considerando essas características, foram realizadas medições experimentais utilizando três condições distintas de umidade do solo, com o intuito de abranger toda a faixa de operação do sensor. Para padronização das condições experimentais, utilizou-se um volume aproximado de 200 mL de solo (equivalente a um copo plástico comum) em cada ensaio, garantindo consistência entre as medições realizadas.

- Solo seco (condição de referência superior)
- Solo levemente úmido (adição aproximada de 50 ml de água)
- Solo saturado (adição aproximada de 100 ml de água)

Para cada condição, foram realizadas 15 leituras consecutivas, permitindo não apenas a obtenção de valores médios representativos, mas também a análise da variabilidade das medições. Observou-se que, mesmo em condições controladas, ocorreram pequenas flutuações entre as leituras, associadas principalmente à heterogeneidade do solo, ao contato elétrico entre as hastes do sensor e o meio, e à própria resolução do ADC.

Essas variações caracterizam o erro experimental do sistema, sendo compatíveis com a faixa de incerteza informada pelo fabricante. Ainda assim, os dados apresentaram comportamento consistente, com separação clara entre os três níveis de umidade, o que valida a utilização do sensor para análise comparativa e monitoramento contínuo.

Figura 7: Calibração terra seca modulo sensor de umidade do solo.



Fonte: Próprio Autor

Figura 8: Calibração terra ideal sensor de umidade do solo .



Fonte: Próprio Autor

Figura 9: Calibração terra saturada de agua sensor de umidade do solo.

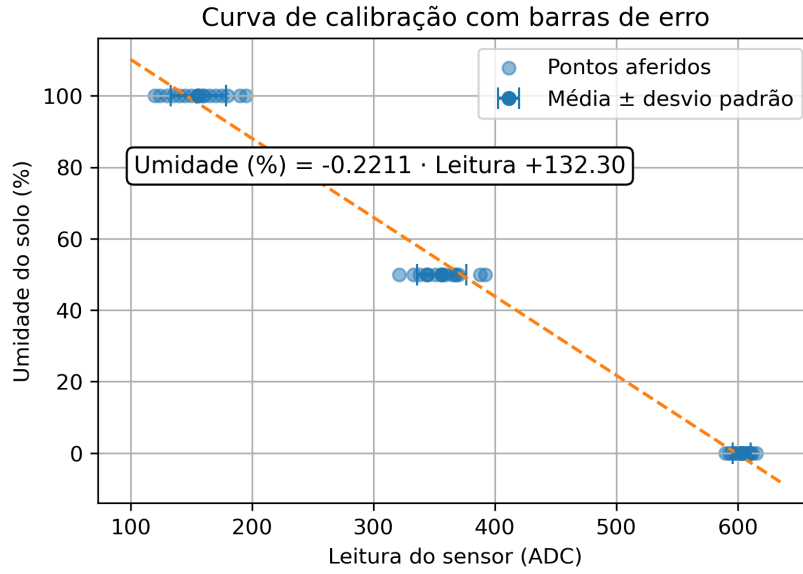


Fonte: Próprio Autor

Optou-se por utilizar este método de calibração devido à sua aplicabilidade prática em cenários de pequena escala, nos quais não há disponibilidade de infraestrutura laboratorial para determinação gravimétrica da umidade do solo. Dessa forma, o procedimento adotado apresenta caráter simplificado, porém adequado aos objetivos do trabalho.

Com base nas aferições correspondentes às três condições de calibração, obteve-se a seguinte curva de calibração para o sensor de umidade do solo:

Figura 10: Curva de calibração para o módulo de umidade do solo.



Fonte: Próprio Autor

Obteve-se, então, a seguinte equação de calibração:

$$Umidade(\%) = -0.2211 \cdot Leitura + 132.30 \quad (1)$$

A calibração do sensor DHT11 foi avaliada de forma comparativa, confrontando-se os valores de temperatura e umidade relativa do ar medidos pelo sensor com dados meteorológicos obtidos em fontes online (INMET, 2025) para o mesmo local e período.

Observou-se que as medições apresentaram valores próximos aos dados de referência, dentro das tolerâncias especificadas pelo fabricante ($\pm 2^\circ\text{C}$ para temperatura e $\pm 5\text{--}10\%$ para umidade), além de estabilidade temporal e coerência física com as condições ambientais, indicando que o sensor operava de forma adequada para a aplicação proposta.

Tomando-se para a calibração do DHT11 um período de três horas, com intervalo de uma hora entre as medições, obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 1: Dados de calibração do sensor DHT11

Data	Hora	T INMET ($^\circ\text{C}$)	U INMET (%)	T DHT11 ($^\circ\text{C}$)	U DHT11 (%)	Erro T (%)	Erro U (%)
25/08/2025	17:00	22.3	54	23.3	55	4.48	1.85
25/08/2025	18:00	21.6	58	22.9	56	6.02	3.45
25/08/2025	19:00	21.4	58	22.8	55	6.54	5.17

Fonte: Próprio autor, com base em INMET (2025).

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que os valores medidos encontram-se dentro da faixa de tolerância especificada pelo fabricante, validando a utilização do sensor DHT11 para a aplicação proposta.

4.6 Código em Python para coleta de dados

O código em Python foi desenvolvido com o objetivo de realizar a comunicação serial com o Arduino, tratar os dados recebidos dos sensores e armazená-los em uma planilha no formato Excel para posterior análise, o mesmo será disponibilizado no apêndice deste documento.

O código em Python foi desenvolvido com o objetivo de realizar a comunicação serial com o Arduino, tratar os dados recebidos dos sensores e armazená-los em uma planilha no formato Excel para posterior análise.

Inicialmente, são importadas as bibliotecas necessárias para o funcionamento do programa. A biblioteca *serial* é utilizada para estabelecer a comunicação com a porta serial do Arduino, enquanto a biblioteca *openpyxl* permite a criação e manipulação de arquivos no formato Excel. A biblioteca *os* é utilizada para verificar a existência do arquivo de dados, e o módulo *datetime* é responsável pela obtenção da data e hora do sistema. Por fim, a biblioteca *time* é empregada para controlar o intervalo entre as leituras.

Em seguida, é definida a função *extrair_numero*, cuja finalidade é realizar o tratamento das strings recebidas via serial. Essa função remove caracteres indesejados, como unidades de medida (°C, %) e textos descritivos, retornando apenas o valor numérico em formato *float*. Caso não seja possível realizar a conversão, a função retorna um valor nulo, permitindo ao código ignorar leituras inválidas.

Posteriormente, é definido o caminho onde o arquivo Excel será armazenado. O código verifica se o arquivo já existe no diretório especificado. Caso exista, ele é carregado; caso contrário, um novo arquivo é criado e recebe um cabeçalho contendo as variáveis monitoradas, como tempo, data, hora, temperatura, umidade relativa do ar e umidade do solo.

Na sequência, é estabelecida a comunicação com o Arduino por meio da porta serial, configurada com taxa de transmissão de 9600 *baud*. Em seguida, inicia-se um laço de repetição contínuo (*while True*), responsável pela leitura constante dos dados enviados pelo microcontrolador.

A cada iteração, o código realiza a leitura de uma linha da porta serial, converte os dados para o formato de texto e remove caracteres desnecessários. Os dados são então separados utilizando o caractere de tabulação como delimitador. O código considera apenas as leituras que possuem exatamente três valores, correspondentes à temperatura do ar, umidade do ar e leitura analógica do sensor de umidade do solo.

Após a separação, os valores são tratados utilizando a função previamente definida, garantindo que apenas dados numéricos válidos sejam utilizados. Caso algum valor seja inválido, a leitura é descartada.

A leitura do sensor de umidade do solo, originalmente em formato analógico (ADC), é então convertida para um valor percentual por meio de uma equação de calibração previamente obtida experimentalmente. Em seguida, esse valor é limitado ao intervalo entre 0% e 100% e convertido para uma escala decimal (m^3/m^3), adequada para análise técnica.

Na etapa seguinte, o código realiza a formatação dos dados de data e hora em diferentes padrões, permitindo compatibilidade com análises futuras e organização da planilha. Os valores numéricos também são formatados, ajustando casas decimais e substituindo o ponto por vírgula, conforme o padrão brasileiro.

Os dados formatados são exibidos no console para acompanhamento em tempo real. Além disso, o código implementa um controle para armazenar apenas uma leitura por hora, evitando redundância de dados. Quando uma nova hora é identificada, os dados são adicionados à planilha Excel e o arquivo é salvo automaticamente.

Por fim, é definido um intervalo de 3600 segundos, correspondendo estes uma hora entre cada leitura, reduzindo o uso excessivo de processamento. Caso o programa seja interrompido manualmente, a comunicação serial é encerrada corretamente e os dados são salvos, garantindo a integridade das informações coletadas.

4.7 Escolha da planta para plantio e monitoramento de funcionamento do protótipo

A escolha da planta utilizada para o monitoramento do funcionamento do protótipo é uma etapa importante para a validação do sistema desenvolvido neste trabalho. Dessa forma, optou-se pela utilização de uma planta do gênero *Phyllanthus*, por se tratar de uma espécie de fácil cultivo, bastante comum em hortas domésticas e que apresenta sensibilidade às variações de umidade do solo, facilitando a análise do desempenho do sistema de irrigação e monitoramento proposto.

Destaca-se que o experimento foi conduzido no município de Itapevi, localizado na região metropolitana do estado de São Paulo, caracterizado por clima subtropical úmido, com variações sazonais de temperatura e regime de chuvas bem definido. Nesse contexto, plantas do gênero *Phyllanthus* apresentam boa adaptação às condições climatológicas locais, sendo frequentemente encontradas em cultivos domésticos e ambientes naturais da região, o que reforça a adequação da escolha para a validação do protótipo em condições reais.

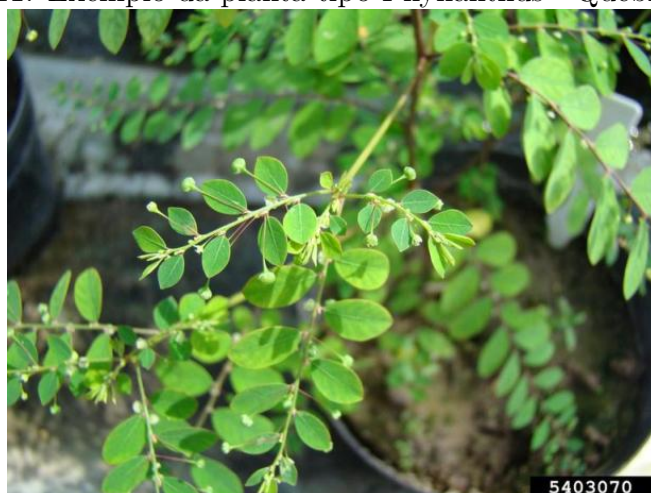
Plantas do gênero *Phyllanthus* apresentam ciclo de vida relativamente curto, o que é um fator positivo para estudos experimentais. De modo geral, o período desde o plantio até o início da colheita ocorre em aproximadamente 60 a 90 dias, dependendo das condições de cultivo, como umidade do solo, temperatura ambiente e disponibilidade de nutrientes. Esse intervalo de tempo é adequado para o acompanhamento contínuo do desenvolvimento da planta ao longo do funcionamento do protótipo, permitindo a coleta de dados suficientes para a avaliação do sistema durante diferentes fases do crescimento vegetal.

Além disso, a planta *Phyllanthus* apresenta boa adaptação a diferentes tipos de solo e não exige manejo complexo, sendo amplamente utilizada em cultivos de pequeno porte. Alterações na irrigação, como excesso ou deficiência de água, refletem-se de forma perceptível no crescimento e no aspecto visual da planta, o que contribui para a validação prática do sensor de umidade do solo e da lógica de controle implementada no sistema automatizado.

Outro fator relevante para a escolha dessa planta está relacionado ao seu uso medicinal, amplamente citado na literatura, especialmente em aplicações populares relacionadas ao tratamento auxiliar de doenças metabólicas, como o diabetes. Dessa forma, o protótipo desenvolvido apresenta uma aplicação real, tendo como objetivo futuro auxiliar no monitoramento das condições ideais de cultivo dessas plantas, reduzindo a necessidade de acompanhamento manual constante.

Assim, a escolha da planta *Phyllanthus* se justifica tanto por suas características agrônômicas, como ciclo de crescimento curto e sensibilidade à umidade do solo, quanto pela possibilidade de aplicação prática do sistema desenvolvido em um contexto real.

Figura 11: Exemplo da planta tipo *Phyllanthus* - Quebra pedra.



Fonte: <https://www.agrolink.com.br/problemas/quebra-pedra176.html>

4.8 Criação de um banco de dados conforme plantio

O período de monitoramento compreendeu aproximadamente 80 dias, abrangendo todas as fases fenológicas da planta, desde a semeadura até a fase de desenvolvimento de sementes. Esse intervalo permitiu avaliar a influência das variáveis climáticas e da umidade do solo ao longo de todo o ciclo da cultura. Os dados coletados podem ser consultados no apêndice deste trabalho.

Conforme descrito anteriormente, a estrutura de armazenamento dos dados foi organizada de forma a permitir flexibilidade na análise. Novas leituras podem ser inseridas em abas distintas dentro do mesmo arquivo Excel, possibilitando a separação de dados para diferentes culturas ou condições de plantio. Dessa forma, torna-se viável a comparação entre diferentes tipos de plantas ou cenários experimentais.

Por outro lado, quando os dados correspondem à mesma cultura e às mesmas condições de cultivo, as leituras são armazenadas na mesma aba, garantindo a continuidade e a padronização das informações ao longo do tempo. Essa organização contribui para uma melhor estruturação do banco de dados, facilitando análises posteriores e a interpretação dos resultados obtidos.

4.9 Desenvolvimento do DashBoard em Power Bi

Após a etapa de obtenção dos dados por meio do sistema de monitoramento desenvolvido, os valores coletados de temperatura do ar, umidade do ar e umidade do solo passaram a ser armazenados em uma planilha do Microsoft Excel. Utilizou-se o software Power BI Desktop para a criação de um painel interativo de visualização.

Inicialmente, realizou-se a importação do arquivo Excel contendo as medições registradas pelo script em Python, utilizando a opção “Obter Dados” disponível no Power BI. A conexão foi feita de forma direta, permitindo que futuras atualizações da planilha possam ser refletidas automaticamente no painel, caso necessário.

Após a importação dos dados, foi utilizado o Power Query Editor para realizar o tratamento e a organização das informações. Nessa etapa, foram verificadas e ajustadas as tipagens das colunas, como data, horário e valores numéricos dos sensores, garantindo que os dados fossem corretamente interpretados pelo Power BI. Além disso, foram realizadas etapas de limpeza, como a remoção de colunas desnecessárias e a padronização dos nomes dos campos, facilitando a construção dos gráficos e a compreensão do conjunto de dados.

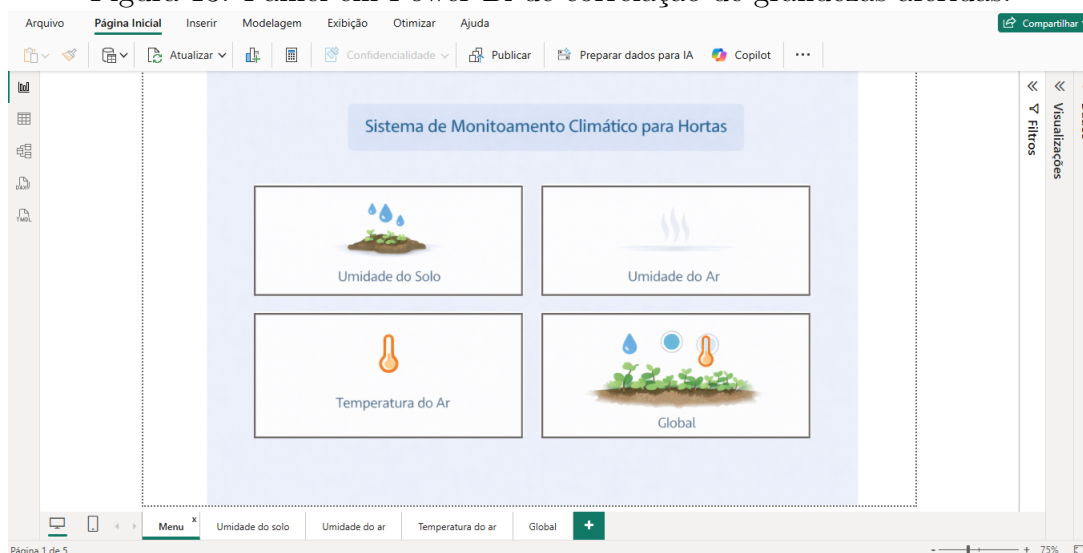
Figura 12: Tratamento de dados no Power Query - Power Bi.

	Data	Hora	Temperatura(°C)	relative_humidity_2m (%)	% soil_moisture_0_to_1cm (%)
1	14/09/2025	31/12/1899 10:00:00	12	91	19,20%
2	14/09/2025	31/12/1899 11:00:00	13,2	83	19,30%
3	14/09/2025	31/12/1899 12:00:00	15,6	72	19,30%
4	14/09/2025	31/12/1899 13:00:00	17,3	67	19,10%
5	14/09/2025	31/12/1899 14:00:00	19	62	18,90%
6	14/09/2025	31/12/1899 15:00:00	20,5	58	18,50%
7	14/09/2025	31/12/1899 16:00:00	21,8	54	18,00%
8	14/09/2025	31/12/1899 17:00:00	22,5	52	17,60%
9	14/09/2025	31/12/1899 18:00:00	24,1	47	25,00%
10	14/09/2025	31/12/1899 19:00:00	23,4	48	24,20%
11	14/09/2025	31/12/1899 20:00:00	22,1	55	23,20%
12	14/09/2025	31/12/1899 21:00:00	17,8	76	23,40%

Fonte: Próprio Autor

Em seguida, os dados tratados no Power Query foram carregados para o ambiente principal do Power BI, onde foi desenvolvido um painel utilizando um template previamente definido. Esse template foi adaptado para apresentar de forma clara as principais variáveis monitoradas pelo protótipo, por meio de gráficos de linha e indicadores, permitindo a visualização da variação dos parâmetros ambientais ao longo do tempo. A organização visual do painel foi pensada de modo a facilitar a interpretação dos dados tanto em computadores quanto em dispositivos móveis.

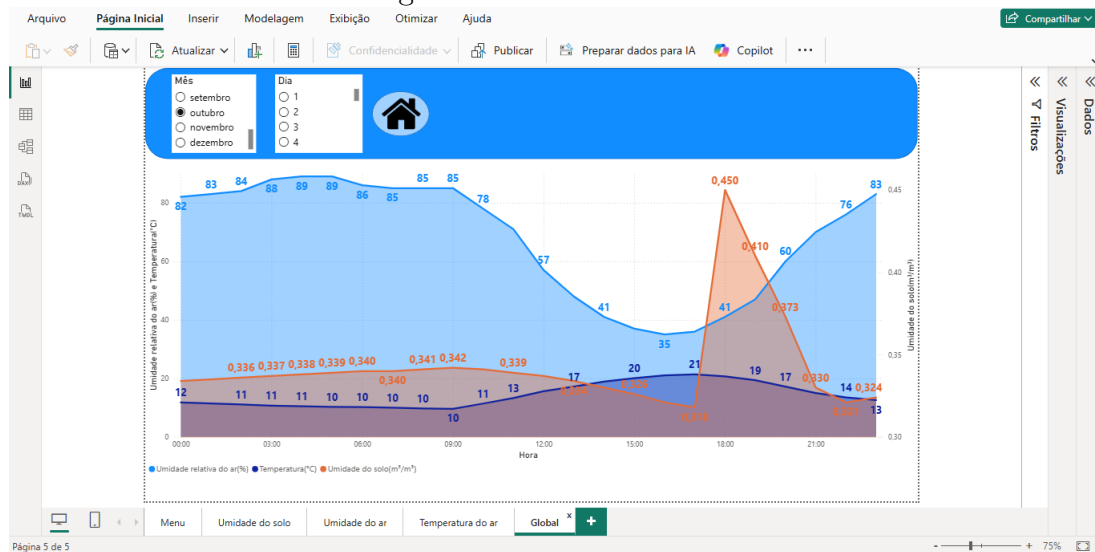
Figura 13: Painel em Power Bi de correlação de grandezas aferidas.



Fonte: Próprio autor

O painel desenvolvido no Power BI pode ser visualizado no computador por meio do Power BI Desktop, Além disso, o mesmo painel pode ser acessado em dispositivos móveis, como smartphones, por meio do aplicativo do Power BI,

Figura 14: Menu Power Bi.



Fonte: Próprio autor

Através da navegação do próprio aplicativo do Power Bi podemos acessar quatro abas, umidade do solo, umidade do ar, temperatura do ar e a forma global, que elgloba todas essas três variáveis para os dados coletados.

5 Resultados Obtidos

5.1 Monitoramento de coleta de dados do protótipo

Durante o período de coleta de dados foram totalizados 77 dias, ou 11 semanas desde o plantio das primeiras sementes até o desabrochar das sementes , os resultados obtidos se deram na localidade da cidade de Itapevi em São Paulo, a localidade é utilizada devido ao estágio obrigatório que era realizado pelo autor durante o período de monitoramento.

Figura 15: Início do processo de monitoramento.



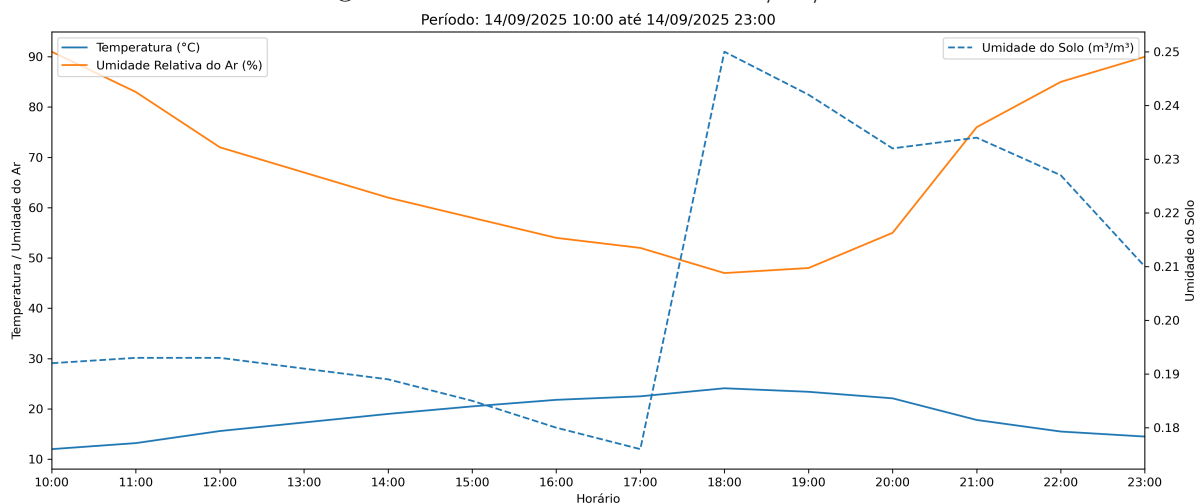
Fonte: Próprio Autor

5.1.1 Semana 1

Durante a primeira semana observou-se que o solo do vaso ainda se encontrava relativamente seco em comparação às condições ideais para germinação. Notou-se também a presença de matéria orgânica no substrato, como folhas secas, contribuindo para a fertilidade inicial. Para o experimento, foram definidas três covas destinadas ao plantio das sementes de *Phyllanthus*,

A irrigação foi padronizada em aproximadamente 400 ml de água por dia, aplicada preferencialmente no horário das 17:30, com o objetivo de avaliar a resposta dos sensores às variações induzidas pela rega. Após o primeiro dia de testes, verificou-se que os sensores apresentavam comportamento coerente, passando então a registrar os dados para o banco a partir de 14/09/2025.

Figura 16: Monitoramento dia 14/09/2025.

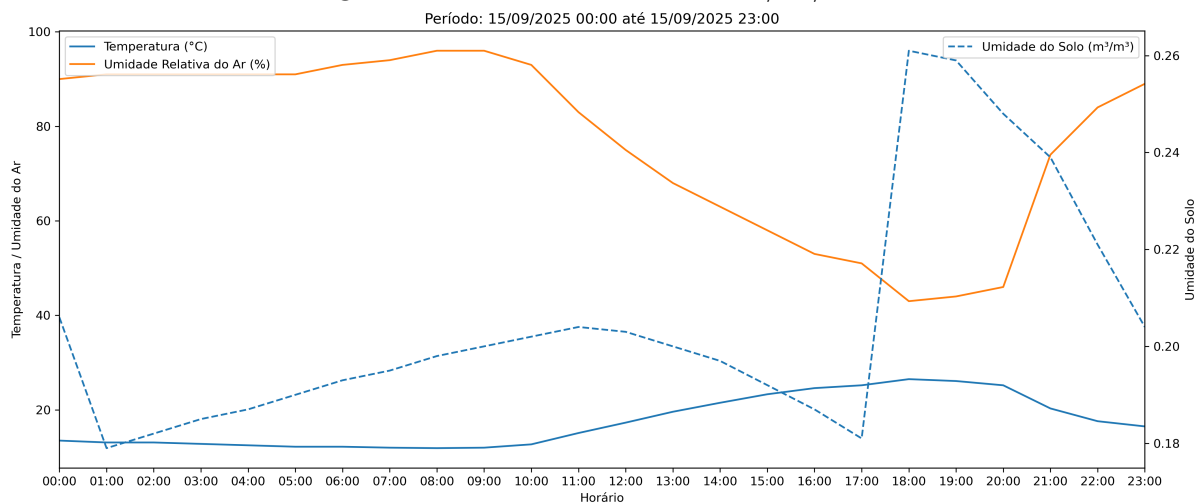


Fonte: Próprio Autor

No dia 14/09/2025, observou-se um aumento gradual da temperatura do ar a partir das 10:00h, passando de aproximadamente 13°C até atingir valores próximos a 25°C por volta das 18:00h. Em contrapartida, a umidade relativa do ar apresentou comportamento inverso, reduzindo de cerca de 91% para aproximadamente 48% no mesmo intervalo.

A umidade do solo acompanhou a elevação da temperatura com uma tendência de queda ao longo do dia, até o momento da irrigação. Após a rega, realizada por volta das 17:30h, observou-se um aumento abrupto na umidade do solo, formando um pico seguido de estabilização temporária. Esse comportamento pode ser associado ao reduzido volume do vaso utilizado, que favorece a rápida drenagem gravitacional da água, resultando em picos transitórios de umidade, perceptíveis entre aproximadamente 18:00 e 22:00.

Figura 17: Monitoramento dia 15/09/2025.

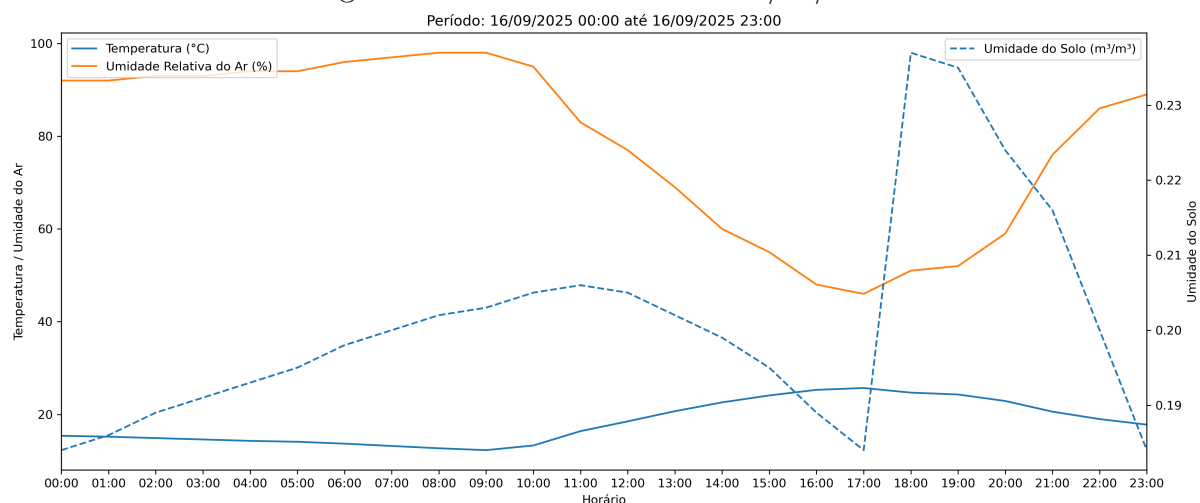


Fonte: Próprio Autor

No dia 15/09/2025, ampliou-se o intervalo de análise para 24 horas completas, permitindo uma melhor compreensão do comportamento das variáveis. Durante a madrugada, por volta da 01:00h, a umidade do solo apresentou valores baixos, com leve aumento ao longo das primeiras horas do dia, possivelmente influenciado pela alta umidade relativa do ar e pelas condições atmosféricas locais.

A partir das 10:00h, repetiu-se o padrão observado anteriormente: aumento da temperatura do ar, atingindo aproximadamente 26°C, acompanhado por redução da umidade relativa do ar e diminuição da umidade do solo. Após a irrigação, novamente foi identificado um pico acentuado na umidade do solo, seguido de queda progressiva ao longo das horas subsequentes, evidenciando o processo de drenagem e evaporação.

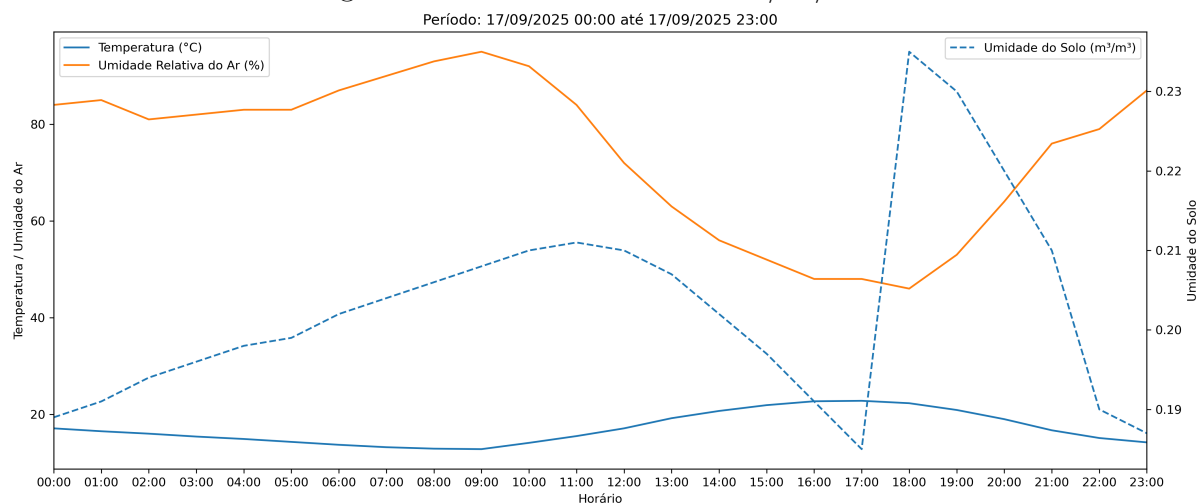
Figura 18: Monitoramento dia 16/09/2025.



Fonte: Próprio Autor

No dia 16/09/2025, manteve-se o mesmo padrão de comportamento observado nos dias anteriores. As manhãs iniciaram com temperaturas mais baixas e elevada umidade relativa do ar, seguidas por aquecimento ao longo do dia e consequente redução da umidade. A umidade do solo apresentou aumento após a irrigação e posterior declínio gradual, reforçando a consistência do comportamento do sistema.

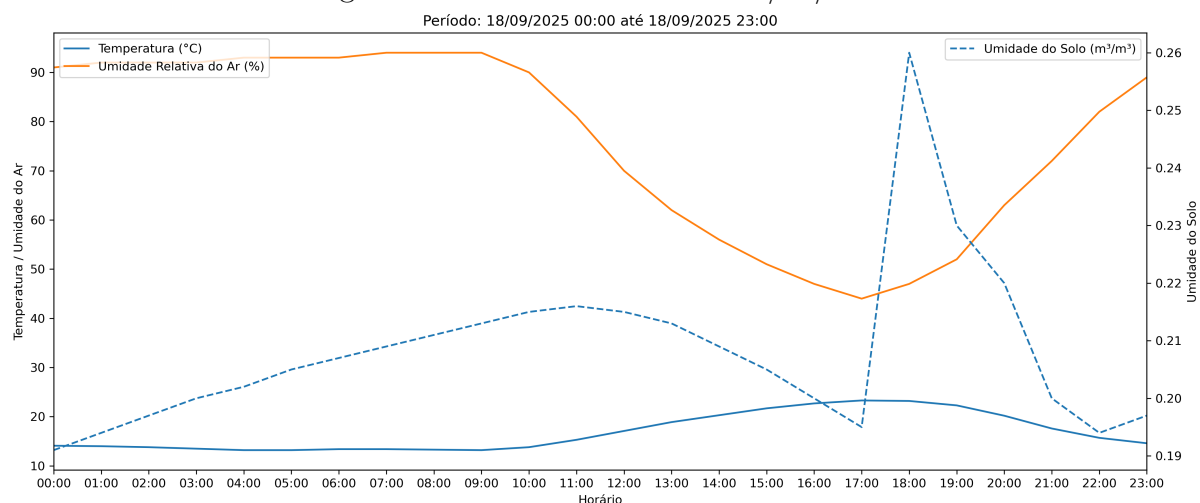
Figura 19: Monitoramento dia 17/09/2025.



Fonte: Próprio Autor

Os dados do dia 17/09/2025 confirmam a repetibilidade do padrão identificado: variação térmica ao longo do dia, redução da umidade relativa do ar durante o período mais quente e resposta direta da umidade do solo à irrigação, com formação de picos no período próximo das 18:00h, seguidos de queda progressiva.

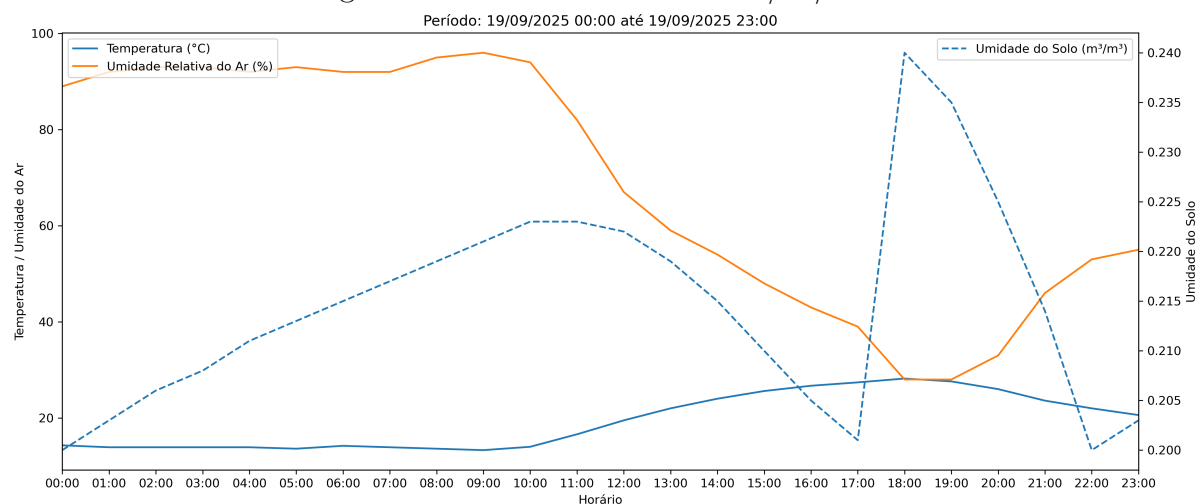
Figura 20: Monitoramento dia 18/09/2025.



Fonte: Próprio Autor

No dia 18/09/2025, o comportamento geral das variáveis manteve-se semelhante. No entanto, observou-se que, devido à exposição direta ao sol e à ação de ventos, o solo apresentava tendência a permanecer seco mesmo após a irrigação, indicando elevada taxa de evaporação e drenagem no sistema utilizado.

Figura 21: Monitoramento dia 19/09/2025.



Fonte: Próprio Autor

Ao final da semana, os dados do dia 19/09/2025 consolidam o padrão observado ao longo do período: uma semana caracterizada por temperaturas elevadas, ausência de precipitação e redução significativa da umidade relativa do ar durante o dia. Esse comportamento impactou diretamente a dinâmica da umidade do solo, reforçando a importância da irrigação controlada.

No último dia da semana, também foi realizado o registro visual do desenvolvimento das plantas, permitindo correlacionar os dados ambientais com o crescimento observado.

Figura 22: Resultados observados após a primeira semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

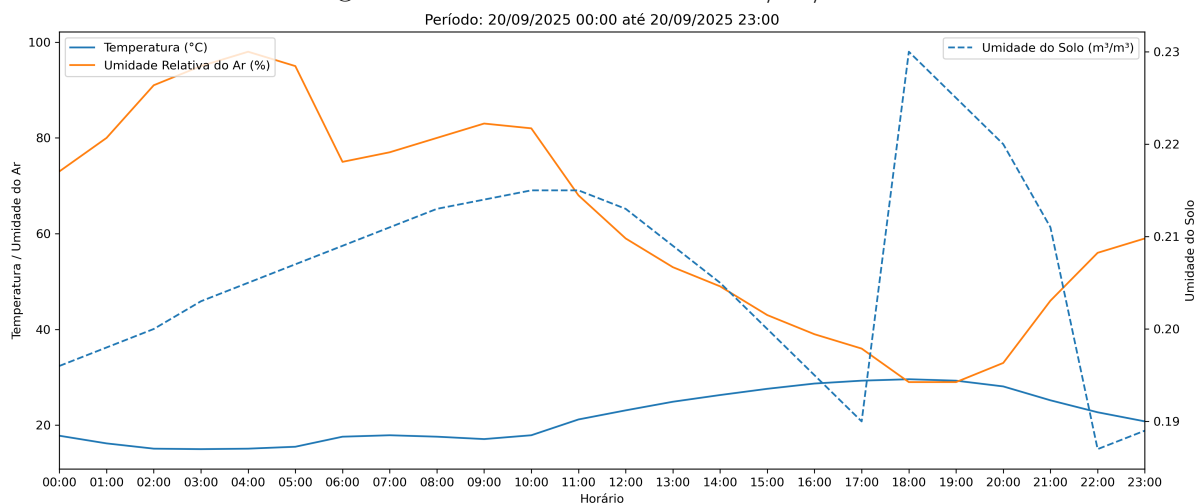
Observou-se o desenvolvimento inicial das mudas, com duas apresentando crescimento mais acentuado e uma terceira com desenvolvimento inferior, indicando possíveis variações locais de umidade ou distribuição de nutrientes no solo.

5.1.2 Semana 2

Dando continuidade ao monitoramento do protótipo, a segunda semana, mantendo-se o padrão experimental adotado anteriormente. A previsão meteorológica indicava possibilidade de ocorrência de chuvas ao longo da semana.

Para o dia 20/09/2025, obteve-se o resultado:

Figura 23: Monitoramento dia 20/09/2025.



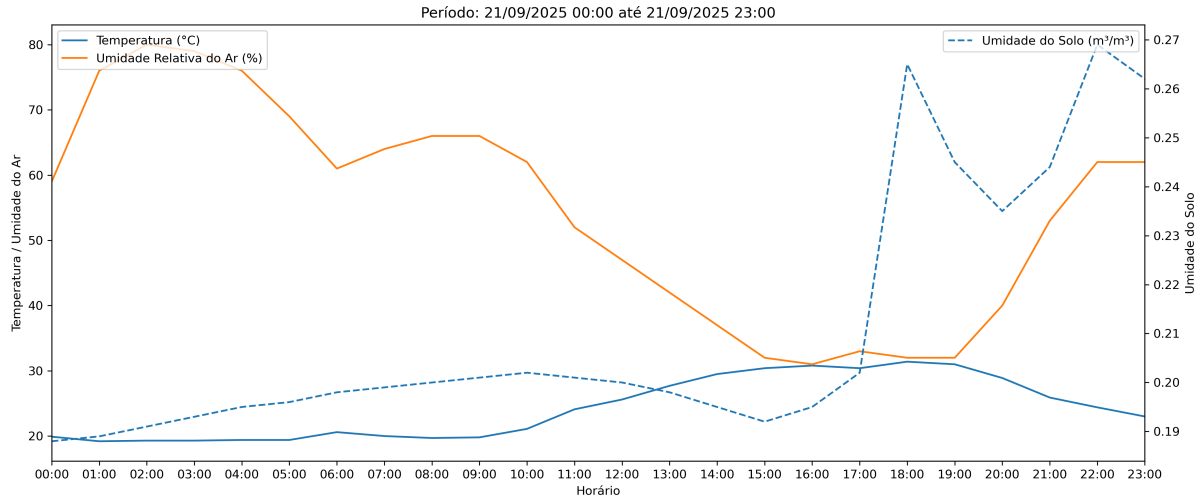
Fonte: Próprio Autor

Observa-se a repetição do padrão térmico identificado na semana anterior, com elevação da temperatura ao longo do dia. Entretanto, a umidade relativa do ar apresentou dois picos dis-

tintos, por volta das 04:00h e às 10:00h. No horário da irrigação, a umidade do ar encontrava-se reduzida, permanecendo baixa por algumas horas. A umidade do solo retornou posteriormente a valores próximos de 19%, comportamento possivelmente associado à influência de ventos secos na região, que favorecem a evaporação.

Para o dia 21/09/2025, os resultados foram os seguintes:

Figura 24: Monitoramento dia 21/09/2025.

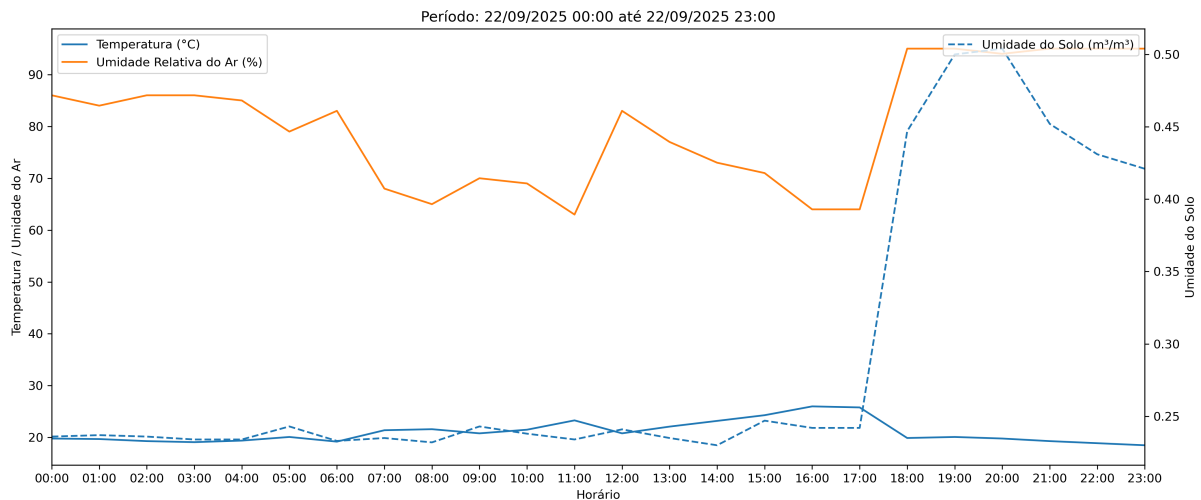


Fonte: Próprio Autor

Neste dia, havia previsão de garoa no período noturno, confirmada por volta das 19:00h. Observa-se que, após a redução da umidade do solo ao longo do dia, ocorre um novo aumento a partir do período noturno, mantendo tendência crescente até aproximadamente 22:00h. Esse comportamento evidencia a sensibilidade do sistema em detectar pequenas precipitações, o que também é refletido pelo aumento da umidade relativa do ar.

No dia 22/09/2025, obteve-se:

Figura 25: Monitoramento dia 22/09/2025.



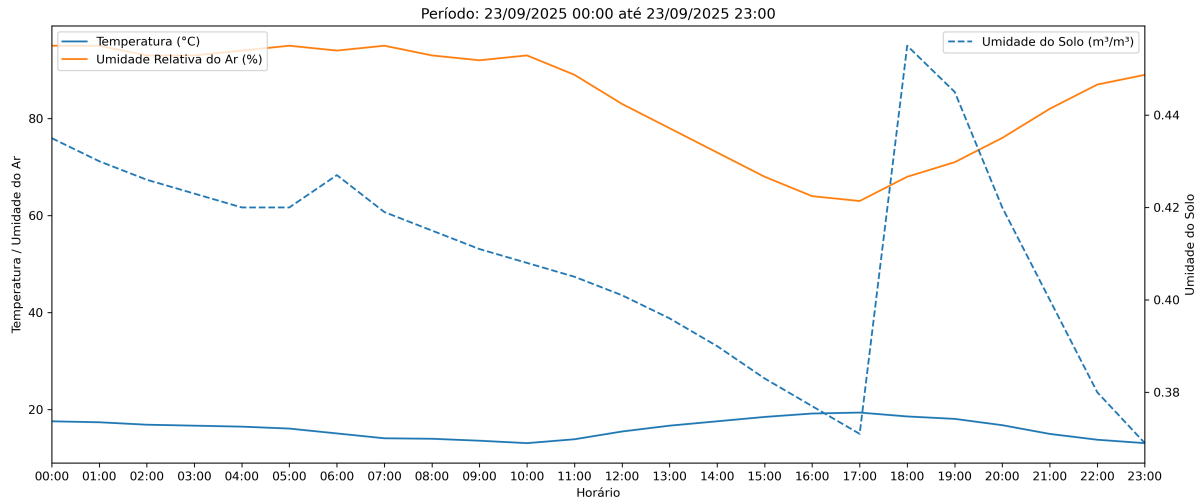
Fonte: Próprio Autor

O solo manteve-se com umidade próxima de 26%, valor herdado das condições do dia anterior. A temperatura permaneceu acima de 20°C, com umidade relativa do ar superior a 60%,

indicando condições favoráveis à ocorrência de chuva. De fato, houve precipitação ao longo do dia, tornando desnecessária a irrigação artificial. A redução gradual da umidade ao longo do tempo sugere o término da chuva e o início do processo de drenagem e evaporação.

Para o dia 23/09/2025:

Figura 26: Monitoramento dia 23/09/2025.

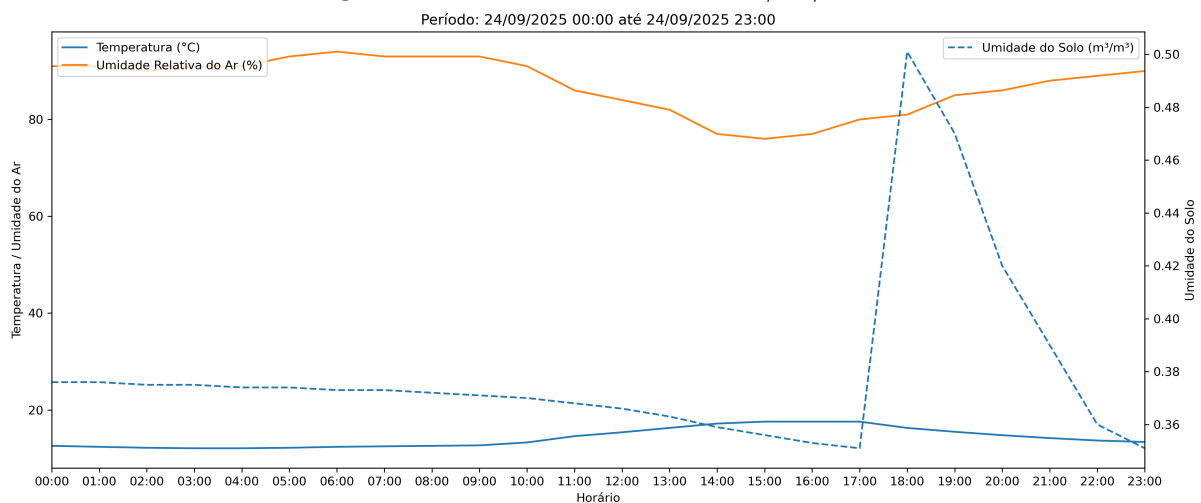


Fonte: Próprio Autor

Neste dia, a temperatura média permaneceu abaixo dos 20°C, enquanto a umidade relativa do ar variou entre aproximadamente 90% no início do dia e 60% no período da tarde, voltando a subir posteriormente. Apesar das condições úmidas, não houve precipitação, sendo registradas apenas ventanias. Após a irrigação no horário padrão, observou-se o comportamento típico de aumento da umidade do solo seguido por queda gradual.

No dia 24/09/2025, buscou-se avaliar a influência da posição da irrigação em relação ao sensor:

Figura 27: Monitoramento dia 24/09/2025.



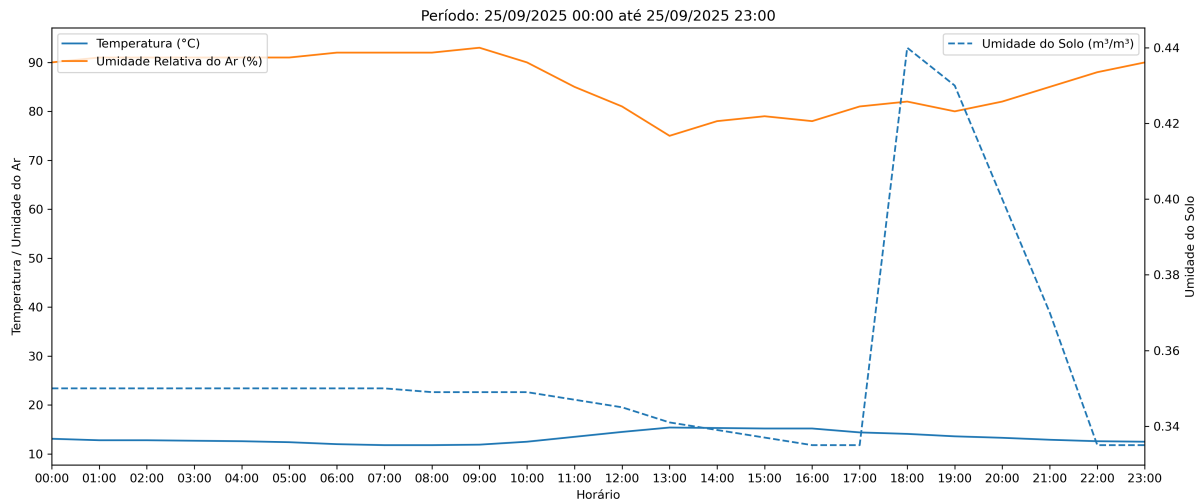
Fonte: Próprio Autor

A irrigação foi realizada mais próxima ao sensor de umidade do solo, resultando em um pico inicial mais elevado, atingindo valores próximos de 50%. Entretanto, ao longo do tempo,

observou-se a estabilização da leitura, indicando redistribuição da água no substrato. Esse comportamento sugere que, apesar de variações locais imediatas, o sistema tende a atingir um equilíbrio hídrico ao longo do volume do vaso.

Para o dia 25/09/2025:

Figura 28: Monitoramento dia 25/09/2025.

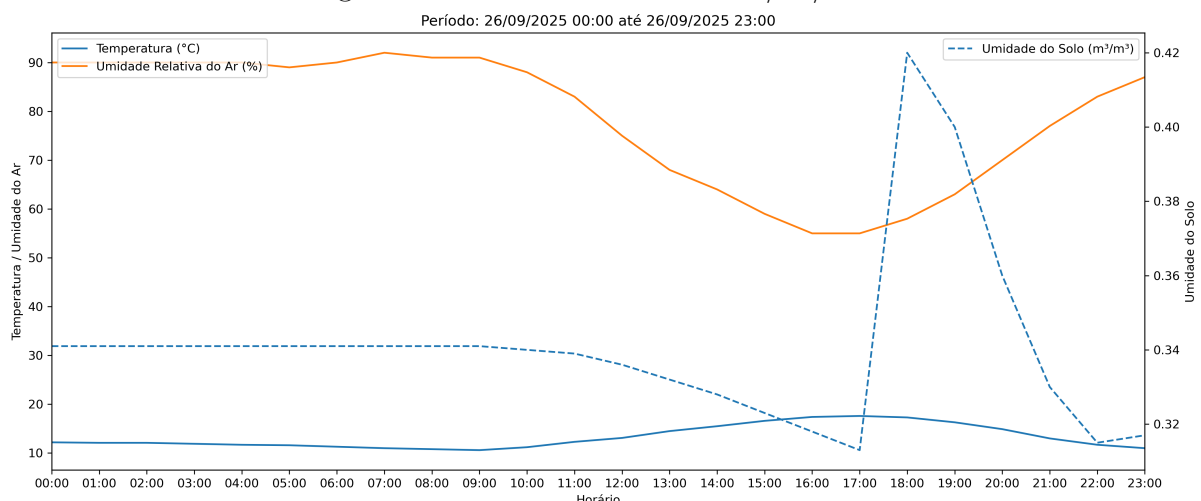


Fonte: Próprio Autor

Observa-se um dia com temperaturas médias inferiores a 20°C e elevada umidade relativa do ar. Essas condições reduzem a taxa de evapotranspiração, favorecendo a retenção de água no solo. Como consequência, a umidade do solo manteve-se relativamente estável, próxima de 35%, apresentando variações mais significativas apenas no momento da irrigação.

No dia 26/09/2025:

Figura 29: Monitoramento dia 26/09/2025.



Fonte: Próprio Autor

Durante o período da manhã, a temperatura manteve-se em torno de 12°C, com umidade relativa do ar próxima de 90%. A partir das 10:00h, observa-se aumento da temperatura e redução da umidade do ar, comportamento semelhante ao padrão já identificado. A umidade

do solo apresenta novamente elevação no momento da irrigação, formando um platô seguido de redução gradual.

Figura 30: Resultados observados após a segunda semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

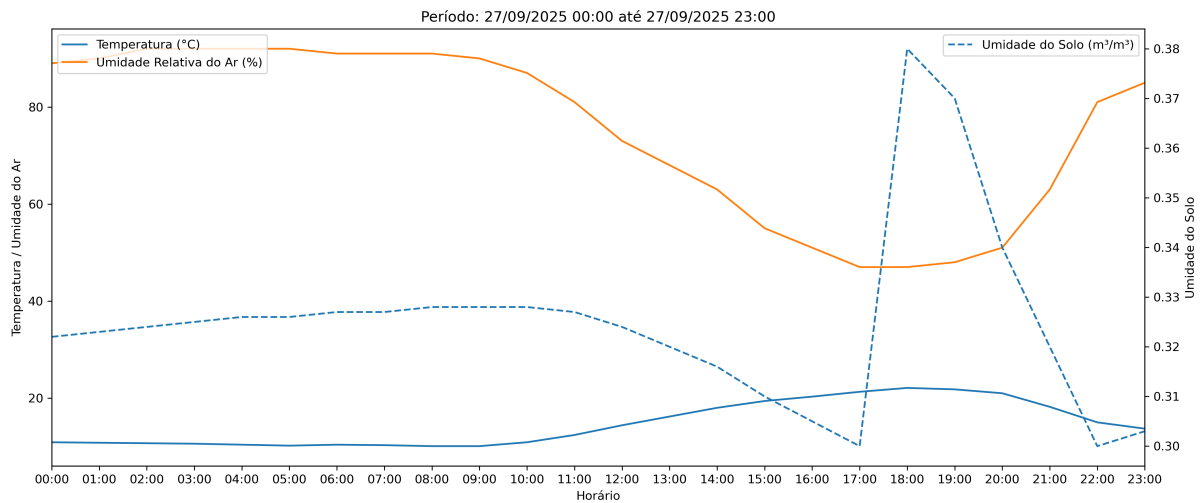
Ao longo da segunda semana, observou-se evolução significativa no desenvolvimento das plantas de *Phyllanthus*, com crescimento dos ramos e intensificação da coloração verde das folhas. Verificou-se também que o solo apresentava maior retenção de umidade em comparação à semana anterior, influenciado tanto pelas condições climáticas quanto pela ocorrência de precipitações. De modo geral, não foram identificadas inconsistências nas medições, e os dados coletados mostraram-se coerentes com as condições meteorológicas observadas no período.

5.1.3 Semana 3

Dando continuidade ao monitoramento, esperava-se para a terceira semana um comportamento semelhante ao observado anteriormente, com manhãs mais frias e úmidas até aproximadamente às 10:00, seguidas por elevação da temperatura ao longo do dia e consequente redução da umidade relativa do ar.

Para o dia 27/09/2025, os dados obtidos são apresentados a seguir:

Figura 31: Monitoramento dia 27/09/2025.

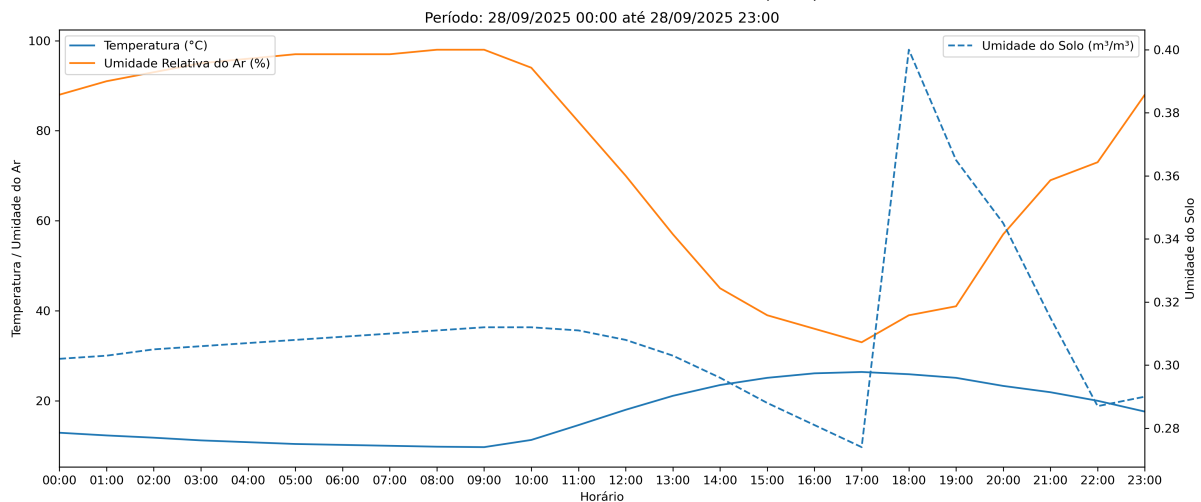


Fonte: Próprio Autor

Observa-se que, devido às temperaturas mais amenas (abaixo de 20°C) e à elevada umidade do ar durante a manhã, a umidade do solo permaneceu relativamente estável na faixa dos 30%, sofrendo variações mais significativas apenas no momento da irrigação. O comportamento geral manteve-se alinhado ao padrão observado nas semanas anteriores.

Os resultados do dia 28/09/2025 são apresentados a seguir:

Figura 32: Monitoramento dia 28/09/2025.

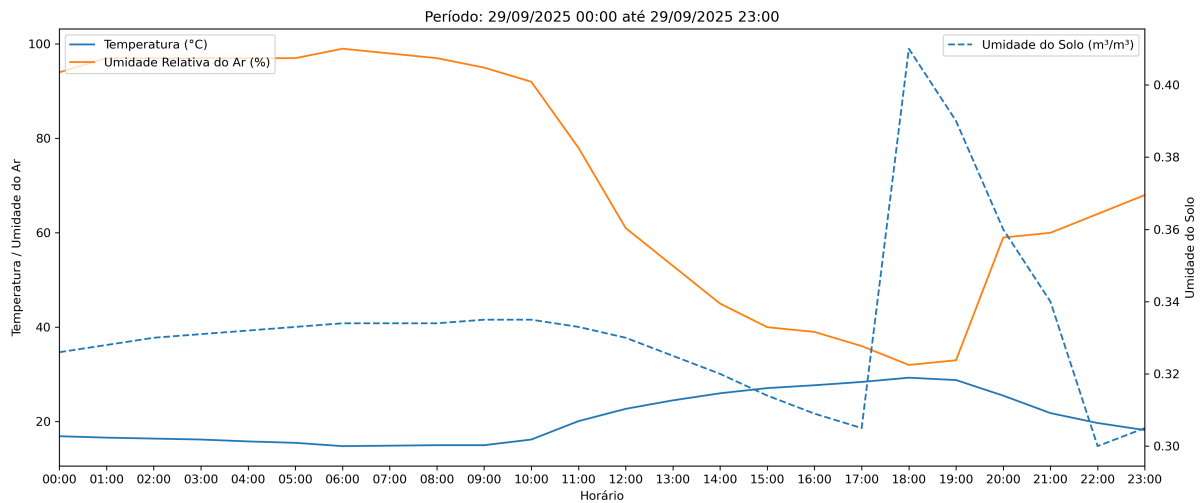


Fonte: Próprio Autor

Neste dia, verificou-se um aumento mais acentuado da temperatura do ar ao longo do período diurno, o que resultou em uma queda significativa da umidade relativa do ar, que passou de aproximadamente 90% às 10:00h para cerca de 30% às 17:00h. Como consequência, observou-se também uma redução mais intensa da umidade do solo ao longo do dia, mantendo-se, contudo, o comportamento típico de elevação no momento da irrigação.

Para o dia 29/09/2025, os resultados obtidos foram:

Figura 33: Monitoramento dia 29/09/2025.

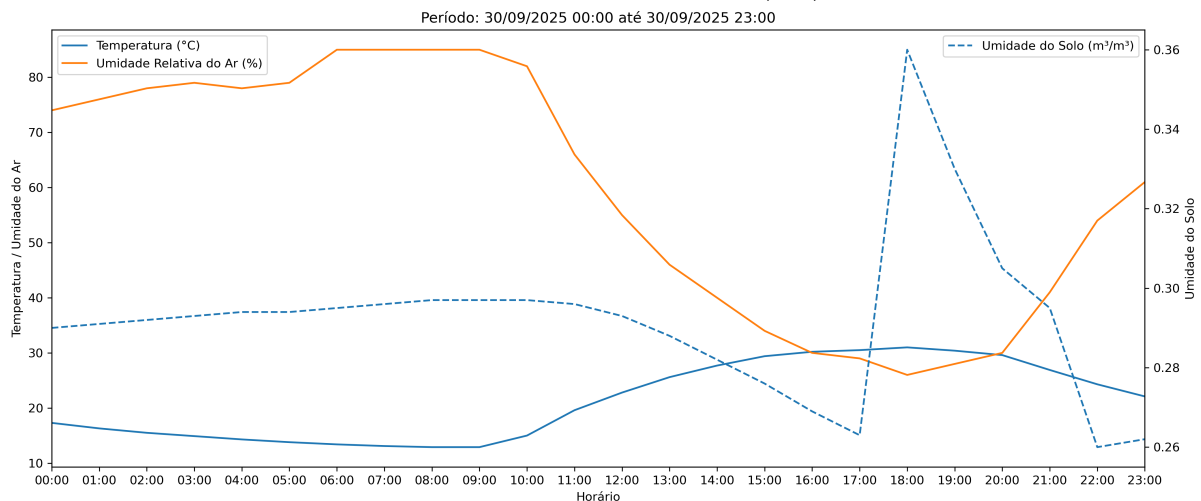


Fonte: Próprio Autor

As variáveis monitoradas apresentaram comportamento semelhante ao observado nos dias anteriores, com variações de umidade do solo concentradas na faixa entre 30% e 40%, sem alterações significativas no padrão geral.

No dia 30/09/2025, último dia do mês, os dados indicam mudanças mais expressivas nas condições ambientais:

Figura 34: Monitoramento dia 30/09/2025.

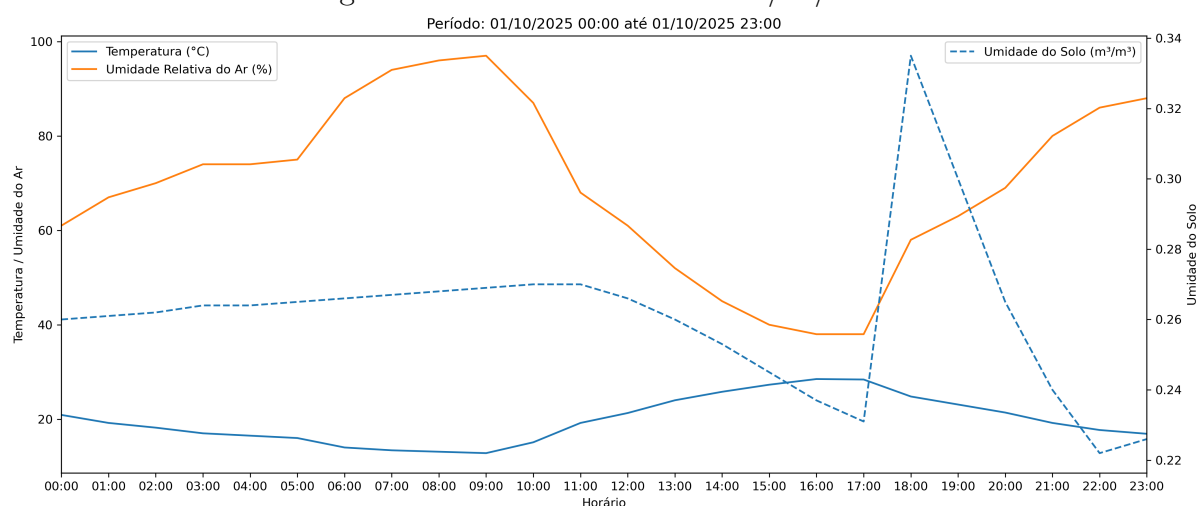


Fonte: Próprio Autor

Verifica-se que, a partir das 14:00h, a temperatura do ar ultrapassou os 30°C, enquanto a umidade relativa do ar apresentou queda acentuada a partir das 10:00h, atingindo valores próximos de 25% às 18:00. Esse cenário contribuiu para uma redução mais rápida da umidade do solo ao longo do período, indicando maior taxa de evaporação.

Com o início do mês de outubro, os dados do dia 01/10/2025 são apresentados a seguir:

Figura 35: Monitoramento dia 01/10/2025.

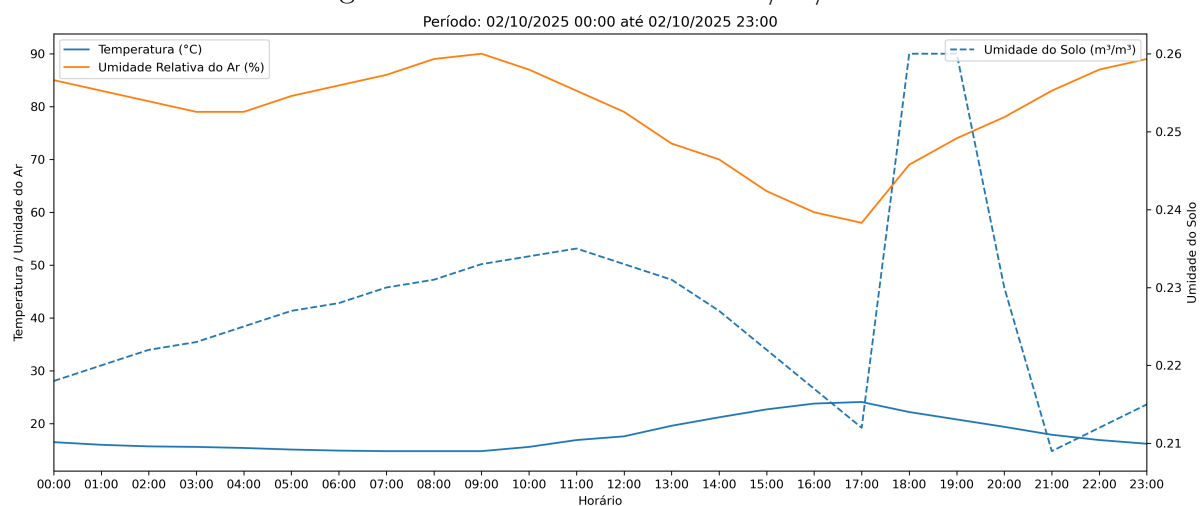


Fonte: Próprio Autor

Neste dia, observam-se variações mais intensas tanto na temperatura quanto na umidade do ar ao longo do dia. A umidade do solo manteve o comportamento característico, com aumento no momento da irrigação seguido de redução gradual. Destaca-se que as condições locais, como a presença de ventos mais intensos, podem ter contribuído para essas oscilações.

Os resultados do dia 02/10/2025 são apresentados a seguir:

Figura 36: Monitoramento dia 02/10/2025.

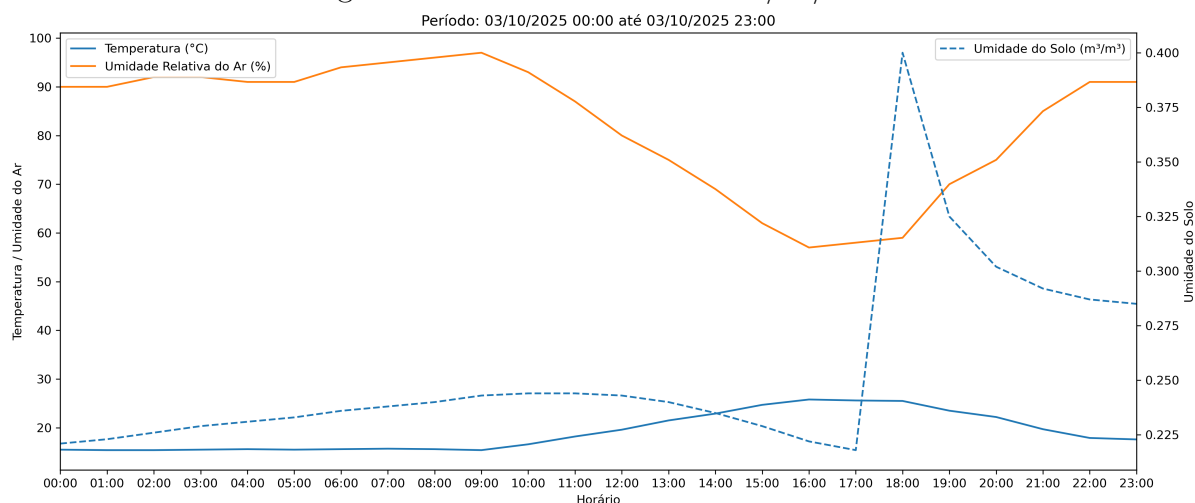


Fonte: Próprio Autor

Observa-se uma leve variação na umidade do ar ao longo do dia, com queda às 4:00h e elevação às 9:00, seguida de nova redução até o período da tarde. A menor umidade registrada ocorreu por volta das 17:00h, com valor próximo de 60%. A umidade do solo manteve-se em níveis mais baixos, variando entre 21% e 26%, caracterizando um cenário relativamente seco.

Por fim, para o dia 03/10/2025, tem-se:

Figura 37: Monitoramento dia 03/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Neste dia, observa-se novamente a redução da umidade do ar a partir das 10:00h, com recuperação gradual após as 16:00. A umidade do solo permaneceu relativamente estável durante o dia, apresentando variação mais significativa apenas após a irrigação. Nota-se que, neste caso, a redução da umidade ocorreu de forma menos acentuada em comparação ao dia anterior, indicando maior retenção hídrica no substrato.

Antes da irrigação, foi registrado o estado do solo, permitindo observar condições com umidade próxima de 20%, utilizadas como referência para comparação.

Figura 38: Resultados observados após a terceira semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

Apesar de o solo apresentar, em alguns momentos, aparência superficial seca, observou-se continuidade no crescimento das plantas e no desenvolvimento das folhas. Esse comportamento

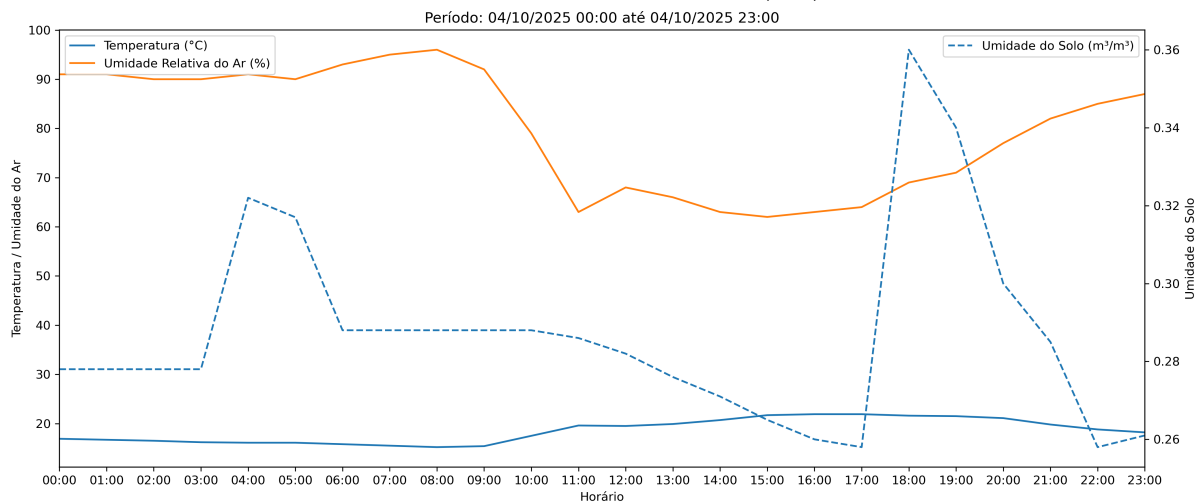
indica a capacidade de adaptação da espécie às variações de umidade, possivelmente associada ao desenvolvimento radicular em camadas mais profundas do substrato.

5.1.4 Semana 4

Na quarta semana de monitoramento, esperava-se uma transição entre dias mais secos e quentes no início do período e condições mais úmidas, com tendência de ocorrência de chuvas ao longo da semana. De modo geral, os dados coletados confirmaram essa expectativa, evidenciando uma mudança gradual no comportamento das variáveis ambientais.

Para o dia 04/10/2025, os resultados são apresentados a seguir:

Figura 39: Monitoramento dia 04/10/2025.

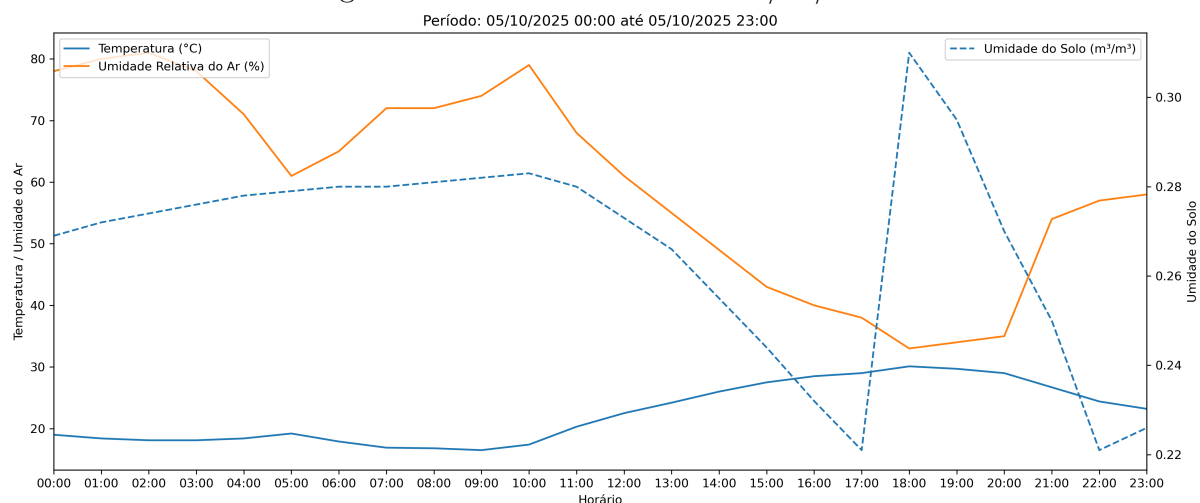


Fonte: Próprio Autor

Observa-se, neste dia, um comportamento geral semelhante ao padrão já estabelecido nas semanas anteriores, com destaque para uma leve elevação pontual da umidade do solo entre 3:00 e 4:00, evento pouco recorrente até então. Fora esse ponto específico, o comportamento das variáveis manteve-se dentro do esperado.

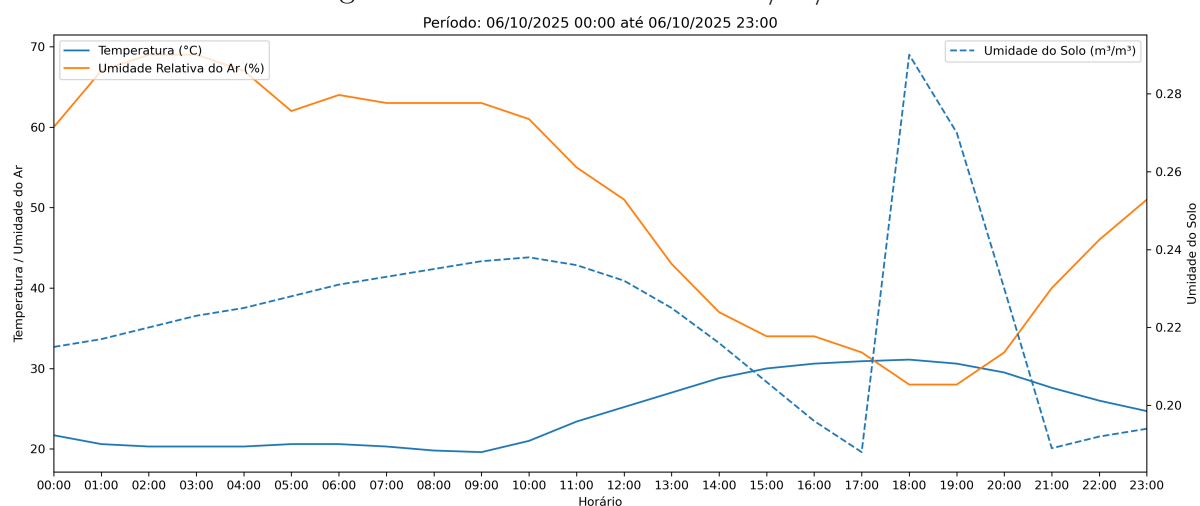
Os dias 05/10/2025 e 06/10/2025 apresentaram características típicas de períodos secos e quentes, conforme ilustrado nas figuras a seguir:

Figura 40: Monitoramento dia 05/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Figura 41: Monitoramento dia 06/10/2025.

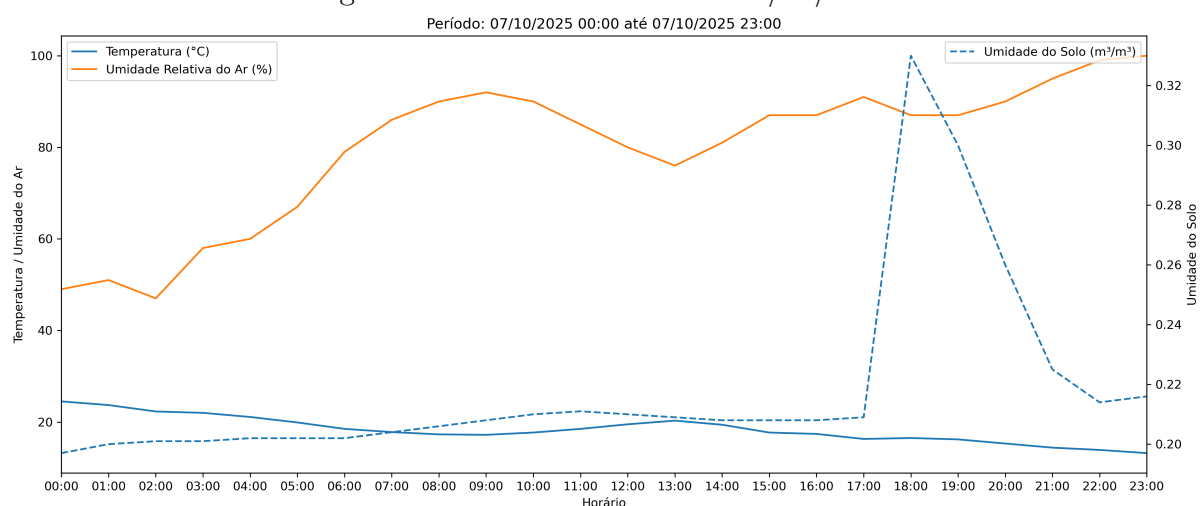


Fonte: Próprio Autor

Nestes dias, destacam-se as condições de baixa umidade relativa do ar associadas a temperaturas elevadas, superiores a 30°C, o que resultou em uma redução mais rápida da umidade do solo ao longo do tempo. Esse comportamento está diretamente relacionado ao aumento da evapotranspiração, evidenciando a sensibilidade do sistema às condições atmosféricas mais severas.

A partir do dia 07/10/2025, observa-se uma mudança no padrão climático:

Figura 42: Monitoramento dia 07/10/2025.

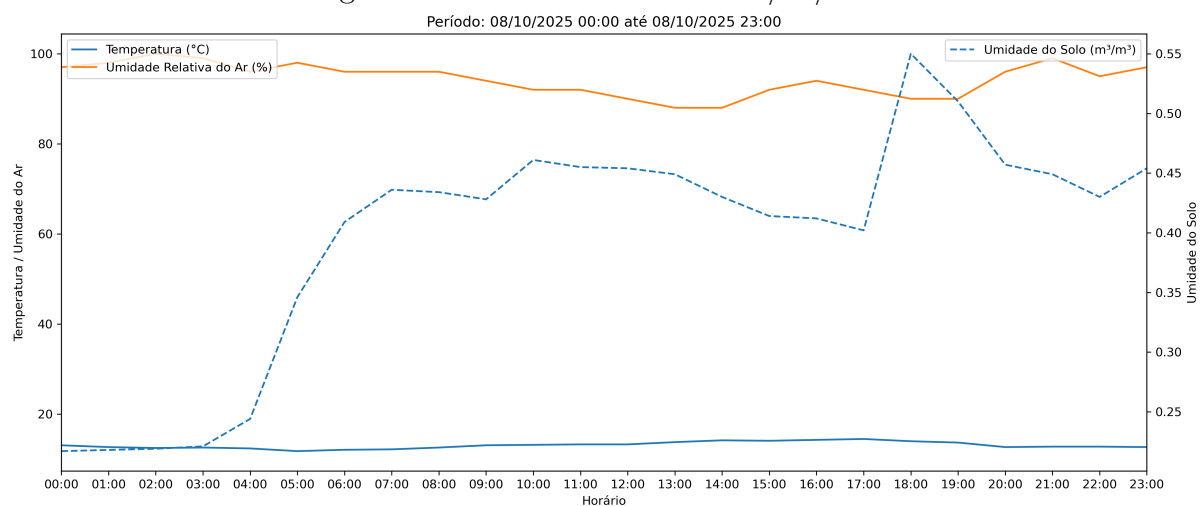


Fonte: Próprio Autor

Neste dia, a variação da umidade do ar foi menos acentuada em comparação aos dias anteriores, com recuperação ao longo do período da tarde. Embora esse aumento não tenha impactado imediatamente a umidade do solo, nota-se uma tendência de maior estabilidade nas leituras, indicando uma transição para condições atmosféricas mais úmidas.

Essa tendência se consolida no dia 08/10/2025:

Figura 43: Monitoramento dia 08/10/2025.

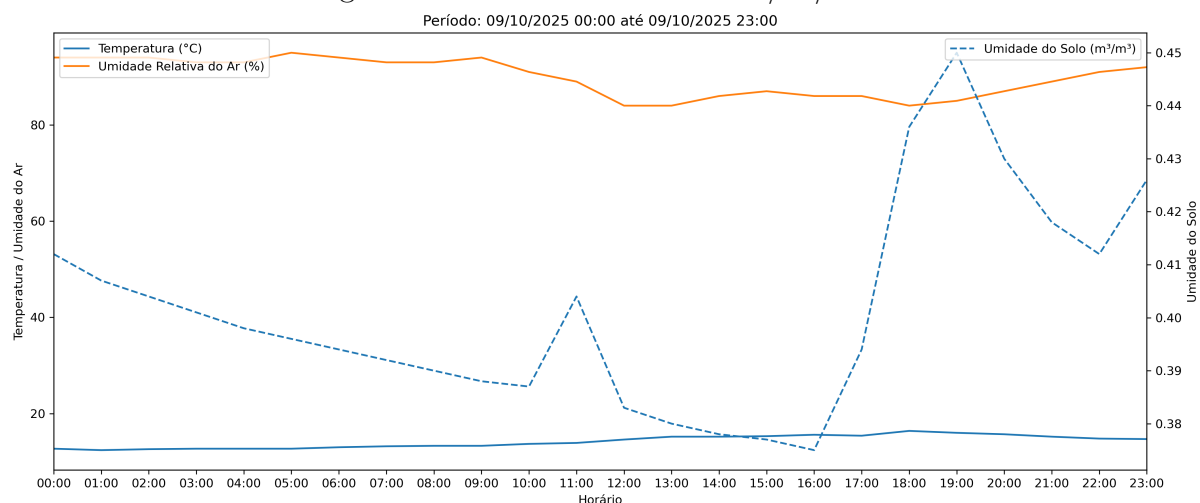


Fonte: Próprio Autor

Neste caso, observa-se um comportamento atípico em relação às semanas anteriores, com manutenção de alta umidade do solo ao longo de praticamente todo o dia. Esse resultado está associado à ocorrência de chuvas e às temperaturas mais baixas, próximas de 15°C, reduzindo significativamente a taxa de evaporação e promovendo maior retenção hídrica no substrato.

No dia 09/10/2025, os dados reforçam essa condição:

Figura 44: Monitoramento dia 09/10/2025.

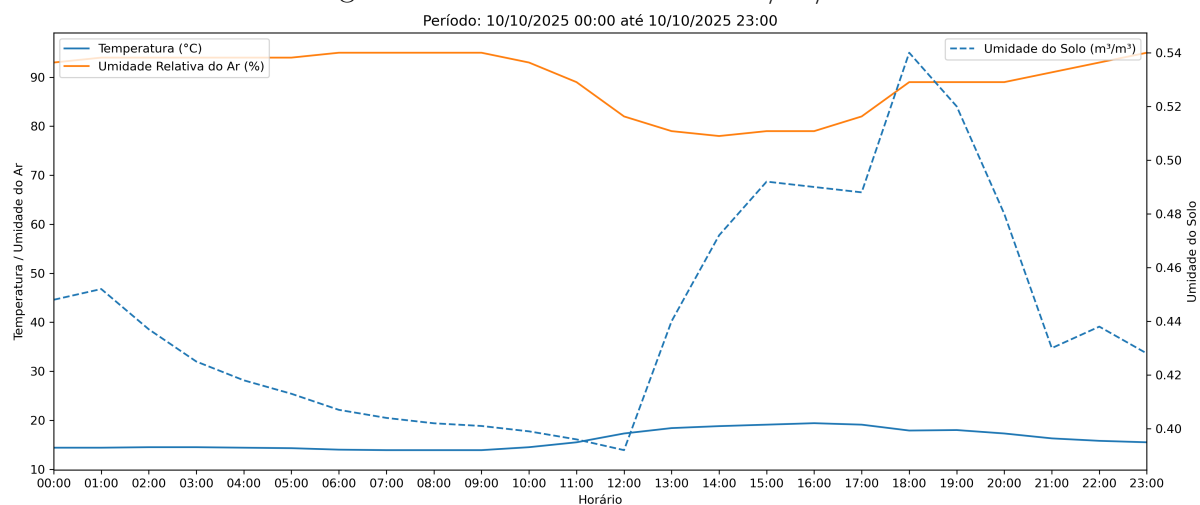


Fonte: Próprio Autor

Foram identificados eventos pontuais de precipitação ao longo do dia, evidenciados por aumentos na umidade do solo. Além disso, o decaimento da umidade após a irrigação ocorreu de forma mais lenta, em função das condições atmosféricas favoráveis à retenção de água.

Para o dia 10/10/2025, observa-se a continuidade desse comportamento:

Figura 45: Monitoramento dia 10/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Mesmo com variações moderadas na temperatura, a presença de chuvas ao longo do dia contribuiu para a manutenção da umidade do solo em níveis elevados, com valores superiores a 40%, indicando um cenário de alta disponibilidade hídrica.

Figura 46: Resultados observados após a quarta semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

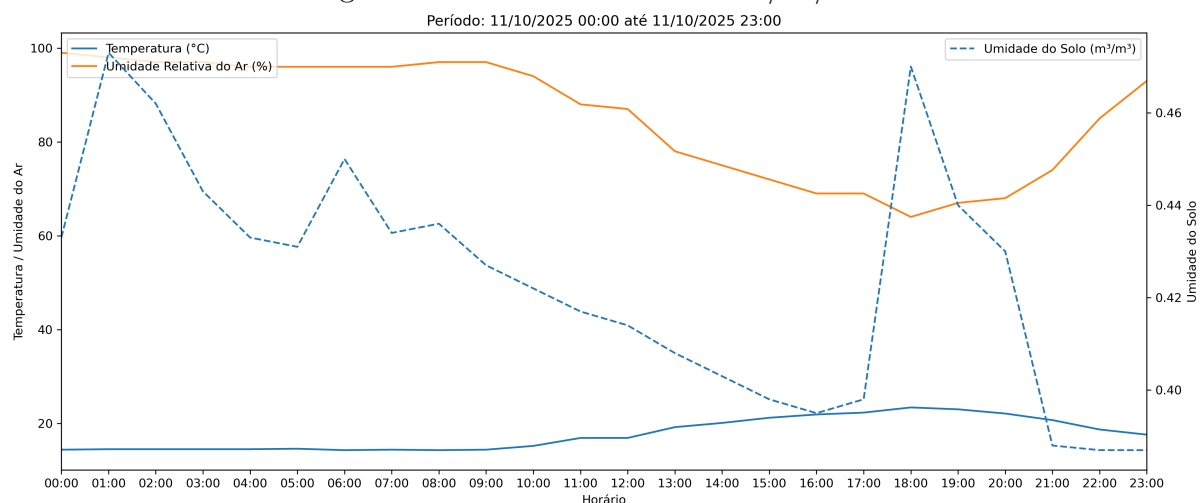
Ao final da quarta semana, observa-se uma evolução significativa no desenvolvimento das plantas, com melhoria visível na coloração e no crescimento. Esse comportamento está associado às condições mais favoráveis de umidade do solo ao longo do período. Ressalta-se que, durante essa semana, o manejo do vaso foi realizado por um terceiro, o que pode introduzir pequenas variações nas condições de irrigação, sem, contudo, comprometer o padrão geral observado nos dados.

5.1.5 Semana 5

Na quinta semana de monitoramento, observou-se uma redução gradual na ocorrência de chuvas, com predominância de dias com temperaturas mais estáveis, próximas de 20°C. De forma geral, os dados indicam uma transição para condições menos úmidas em comparação com a semana anterior.

Para o dia 11/10/2025, os resultados são apresentados a seguir:

Figura 47: Monitoramento dia 11/10/2025.

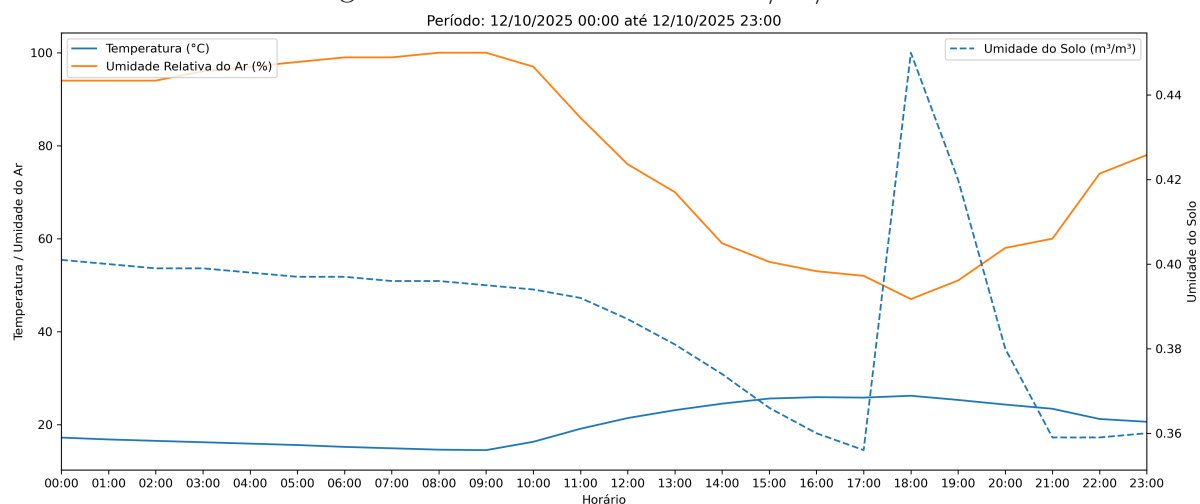


Fonte: Próprio Autor

Neste dia, destacam-se dois eventos de precipitação mais intensa durante a madrugada, evidenciados por picos na umidade do ar próximos de 100% e aumento na umidade do solo. Ao longo do período da tarde, observa-se a retomada do padrão de redução da umidade do solo, associada ao aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar. Ainda assim, a umidade do solo manteve-se próxima de 40%, dentro da faixa considerada adequada.

No dia 12/10/2025:

Figura 48: Monitoramento dia 12/10/2025.

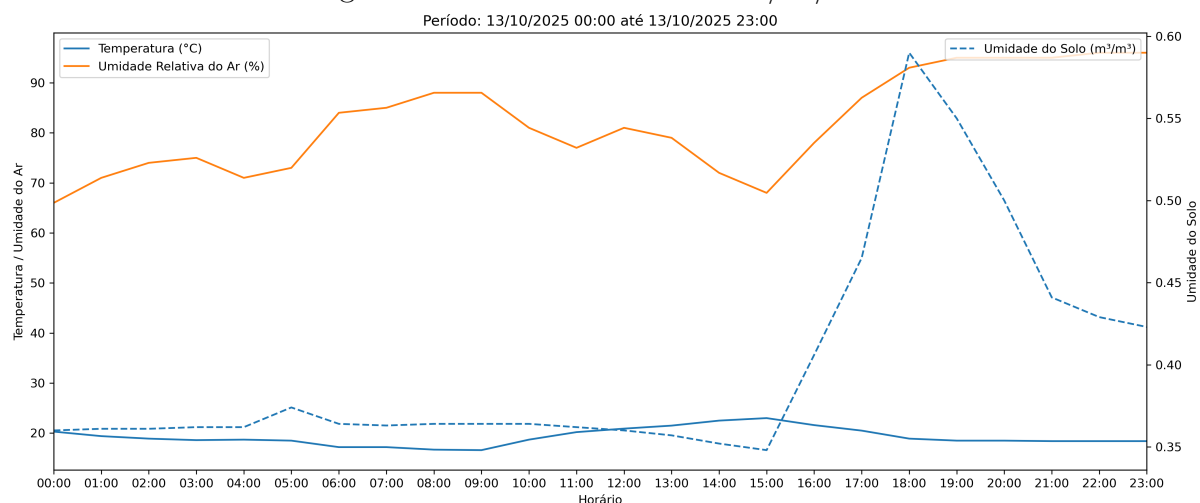


Fonte: Próprio Autor

Com a ausência de chuvas, observa-se o retorno ao comportamento padrão já identificado: elevação da temperatura ao longo do dia, redução da umidade do ar e consequente diminuição gradual da umidade do solo. A resposta do sistema à irrigação mantém o padrão de estabilização temporária (platô), com valores situados entre 30% e 40%.

Para o dia 13/10/2025, destaca-se um comportamento atípico:

Figura 49: Monitoramento dia 13/10/2025.

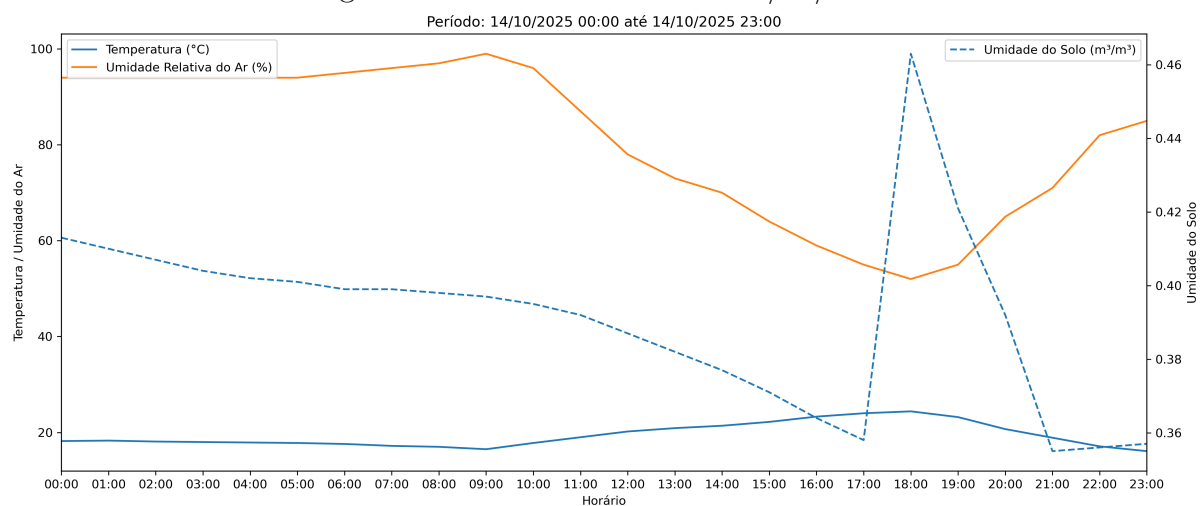


Fonte: Próprio Autor

A ocorrência de uma chuva intensa por volta das 15:00h, associada à irrigação, resultou em um pico de umidade do solo próximo de 60%, o maior valor registrado até o momento. Posteriormente, observa-se redução gradual desse valor, estabilizando-se entre 40% e 50%, evidenciando a dinâmica de drenagem e redistribuição da água no substrato.

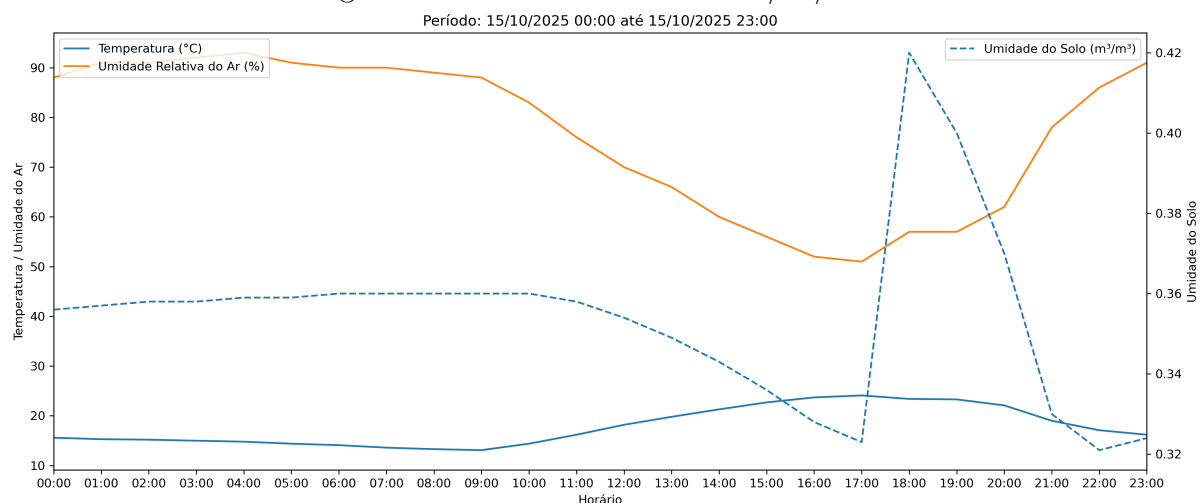
Nos dias subsequentes (14/10/2025, 15/10/2025 e 16/10/2025), apresentados nas figuras a seguir, o comportamento das variáveis manteve-se consistente com o padrão típico de dias sem precipitação:

Figura 50: Monitoramento dia 14/10/2025.



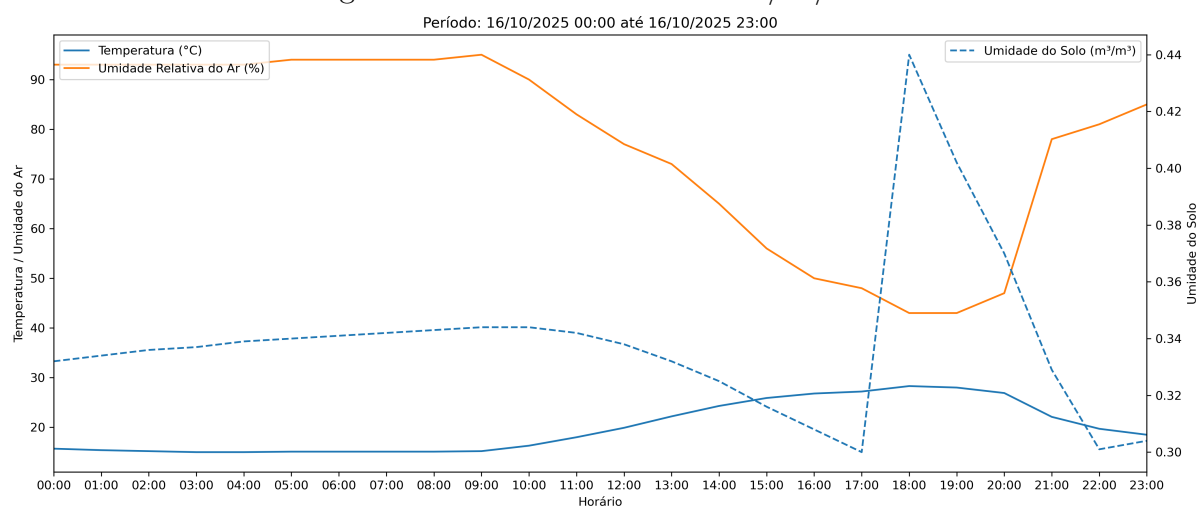
Fonte: Próprio Autor

Figura 51: Monitoramento dia 15/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Figura 52: Monitoramento dia 16/10/2025.

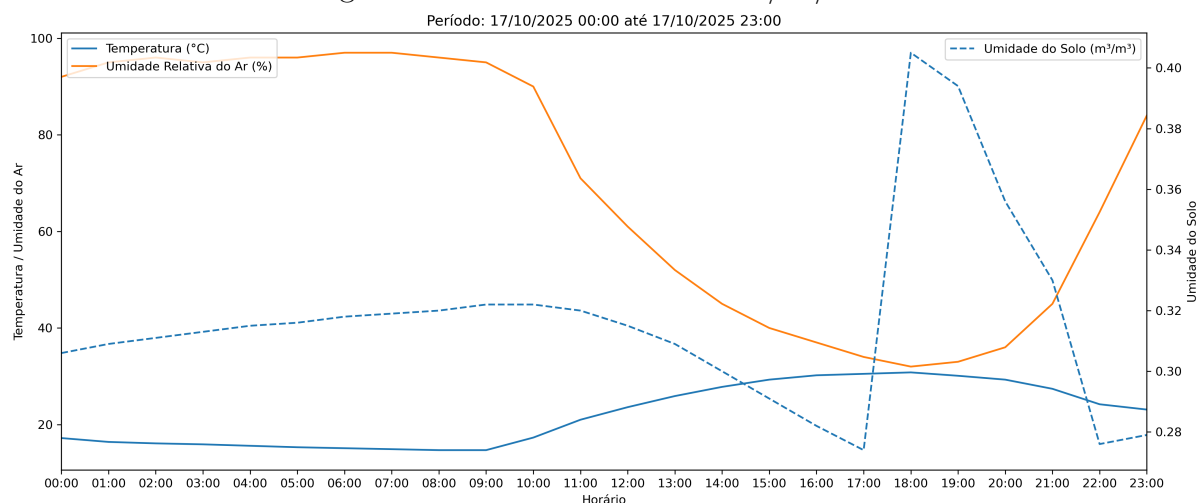


Fonte: Próprio Autor

Observa-se a repetição do comportamento característico: redução da umidade relativa do ar ao longo do dia, acompanhada pelo decréscimo da umidade do solo, e aumento pontual no momento da irrigação. A estabilidade dos dados nesses dias reforça a confiabilidade do sistema em reproduzir padrões climáticos consistentes.

Para o dia 17/10/2025:

Figura 53: Monitoramento dia 17/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Neste caso, observa-se uma queda mais acentuada da umidade relativa do ar ao longo do dia, refletindo também em uma diminuição da umidade do solo, que atingiu valores próximos de 28% ao final do período. Essa condição indica um cenário de menor disponibilidade hídrica, ligeiramente abaixo da faixa considerada ideal.

Figura 54: Resultados observados após a quinta semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

Ao final da quinta semana, observa-se que o solo apresenta menor retenção de umidade em comparação com a semana anterior, refletindo diretamente no aspecto das plantas. Nota-se

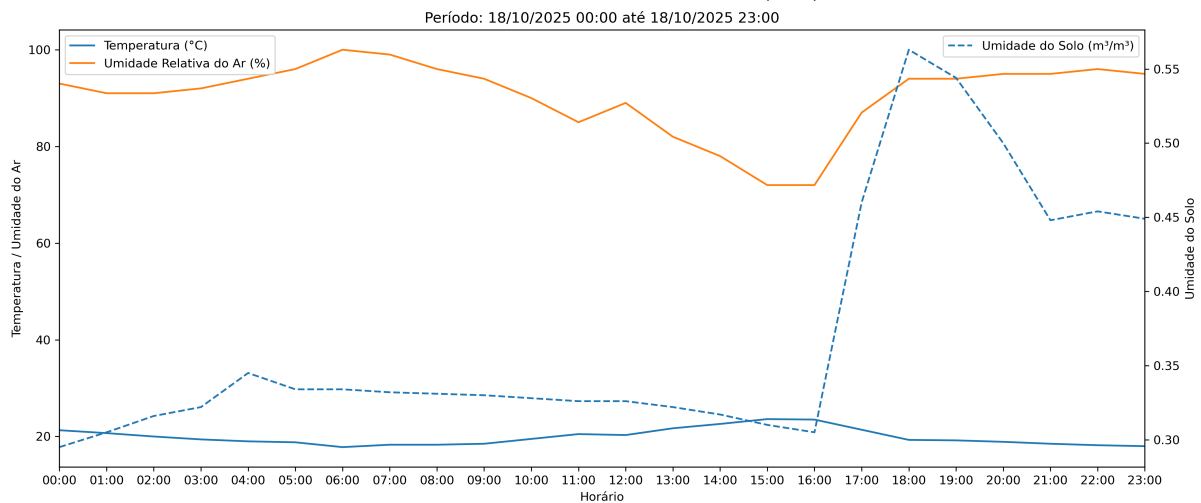
uma redução na coloração verde das folhas e maior fechamento das mesmas, indicando resposta fisiológica ao estresse hídrico. Esses resultados evidenciam a influência direta das condições de umidade do solo no desenvolvimento da planta, além de reforçarem a capacidade do sistema em identificar variações ambientais relevantes para o manejo agrícola.

5.1.6 Semana 6

A sexta semana de monitoramento foi marcada por um período inicial com ocorrência de chuvas e temperaturas mais amenas, seguido por dias com menor incidência de precipitação e comportamento climático mais estável.

Para o dia 18/10/2025, observou-se um comportamento distinto em relação aos dias secos, com aumentos na umidade do solo e do ar associados a eventos de garoa durante a madrugada (por volta das 4:00h) e uma chuva mais significativa no período da tarde.

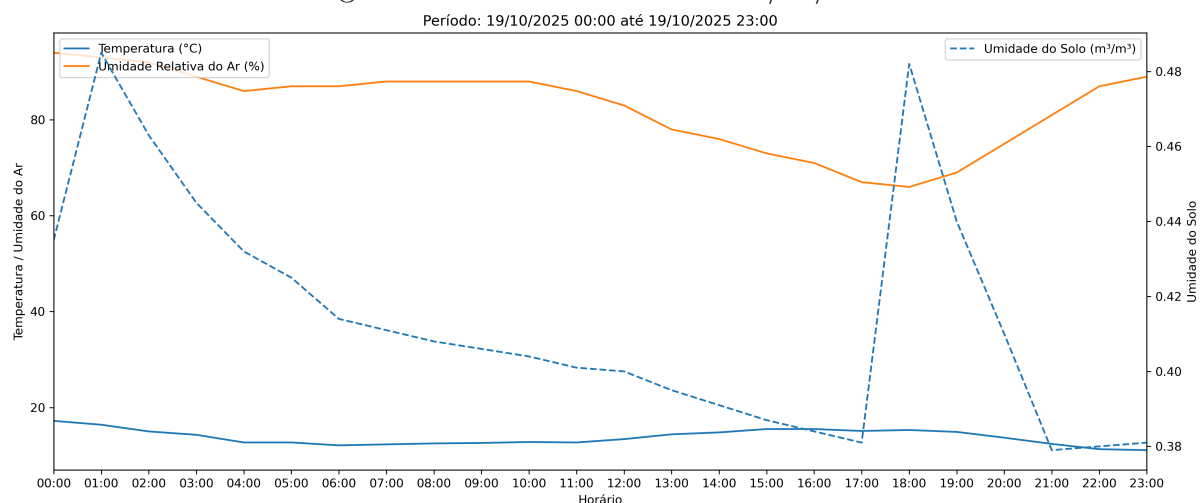
Figura 55: Monitoramento dia 18/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

No dia 19/10/2025, novamente foi possível identificar um evento de chuva no início da madrugada, evidenciado por um pico na umidade do solo.

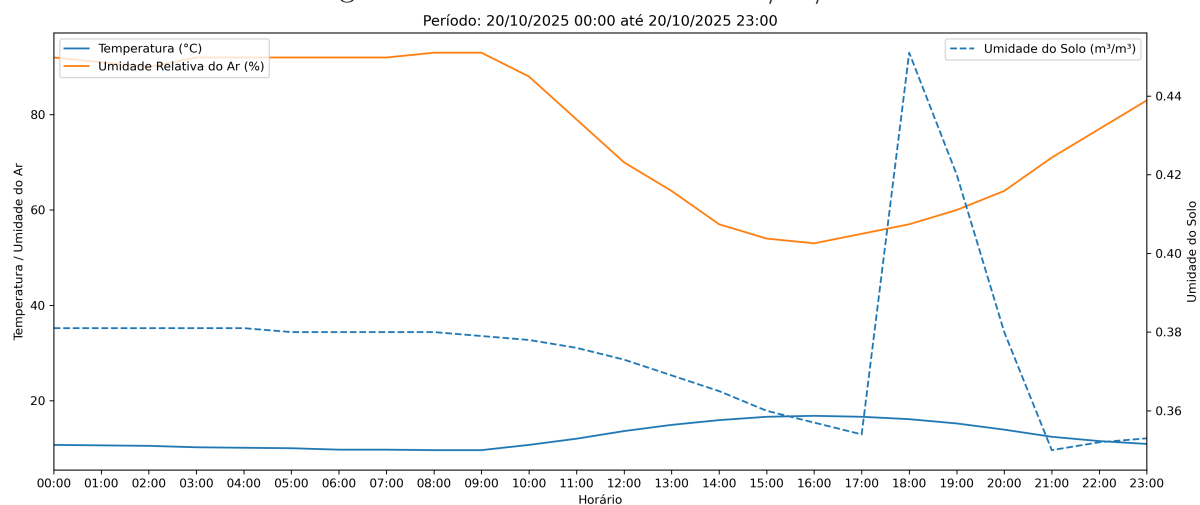
Figura 56: Monitoramento dia 19/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Para o dia 20/10/2025, não houve registro de precipitação, sendo observado o comportamento típico de dias secos, com aumento da umidade após a irrigação seguido de queda gradual.

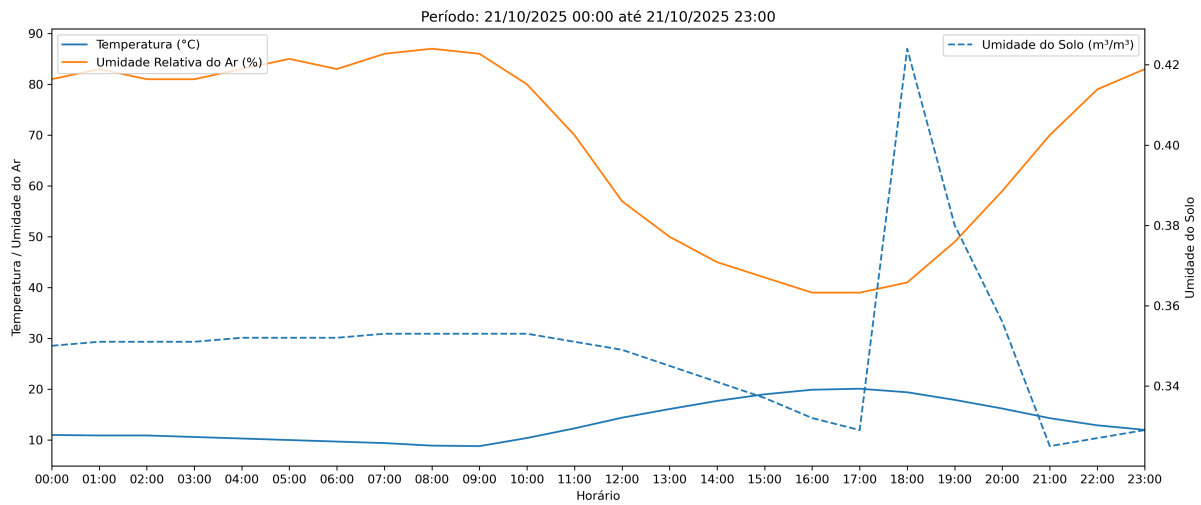
Figura 57: Monitoramento dia 20/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

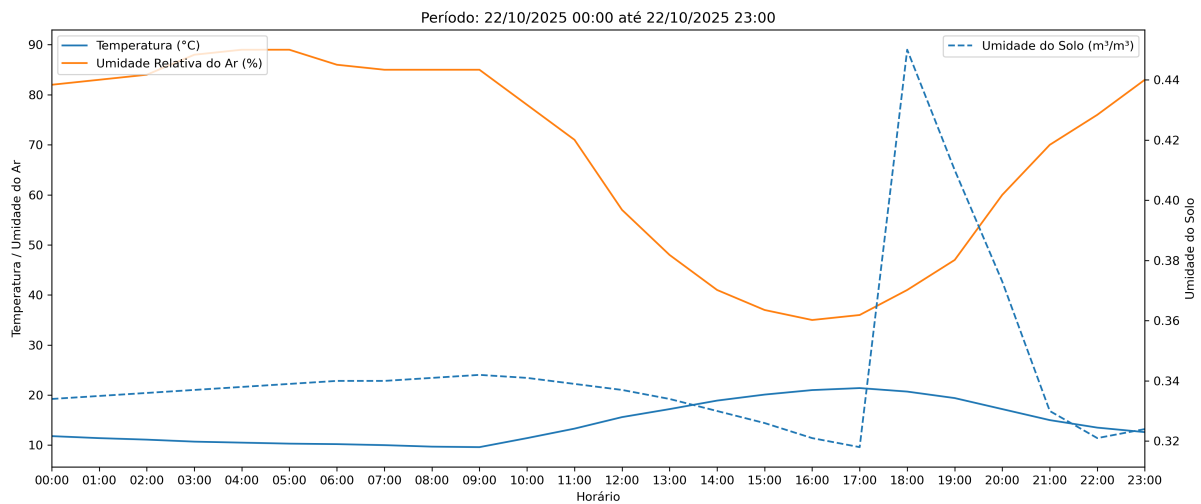
Nos dias 21/10/2025 e 22/10/2025, os padrões foram bastante semelhantes, com estabilidade térmica e ausência de chuvas, mas com influência da queda da umidade do ar na redução gradual da umidade do solo.

Figura 58: Monitoramento dia 21/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

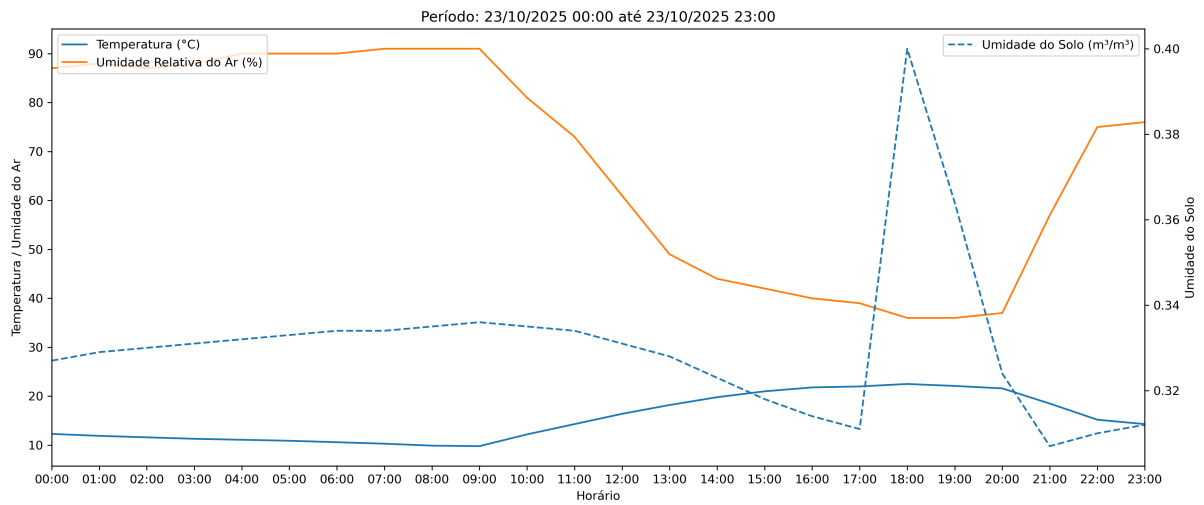
Figura 59: Monitoramento dia 22/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

No dia 23/10/2025, um comportamento atípico foi observado, com rápida drenagem da água no solo devido à combinação de baixa umidade do ar e ventos mais intensos.

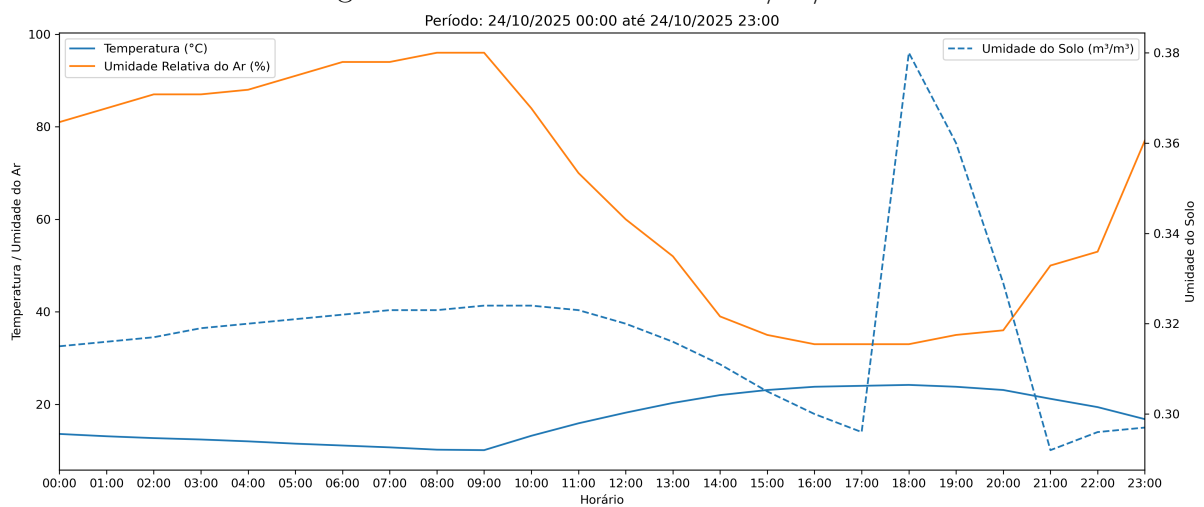
Figura 60: Monitoramento dia 23/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Para o dia 24/10/2025, o sistema voltou a apresentar o comportamento padrão já observado ao longo do experimento.

Figura 61: Monitoramento dia 24/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Figura 62: Resultados observados após a sexta semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

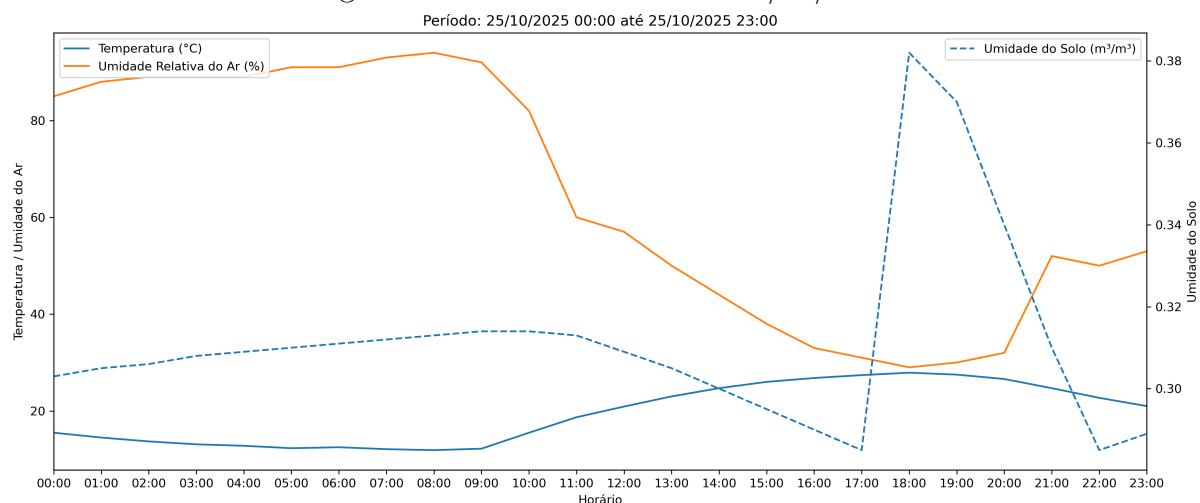
De forma geral, os resultados desta semana evidenciam que períodos com maior disponibilidade hídrica, seja por precipitação natural ou por condições atmosféricas favoráveis, contribuem diretamente para a manutenção da umidade do solo em níveis ideais. Nessas condições, observou-se um desenvolvimento mais expressivo das plantas, com folhas mais verdes e maior crescimento dos ramos. Em contrapartida, dias com baixa umidade relativa do ar e maior incidência de ventos demonstraram impacto negativo na retenção de água pelo solo, mesmo após a irrigação.

5.1.7 Semana 7

A sétima semana de monitoramento marca um estágio intermediário do ciclo da planta *Phyllanthus*, no qual as condições ambientais passam a influenciar de forma mais evidente o seu desenvolvimento vegetativo, especialmente em relação à disponibilidade hídrica.

No dia 25/10/2025, observou-se um comportamento característico de condições mais secas, com queda acentuada da umidade do ar ao longo da tarde, atingindo valores próximos de 30% por volta das 18:00h. Como consequência, a umidade do solo apresentou redução ao longo do período noturno, atingindo valores inferiores a 30%, evidenciando o efeito direto da evapotranspiração.

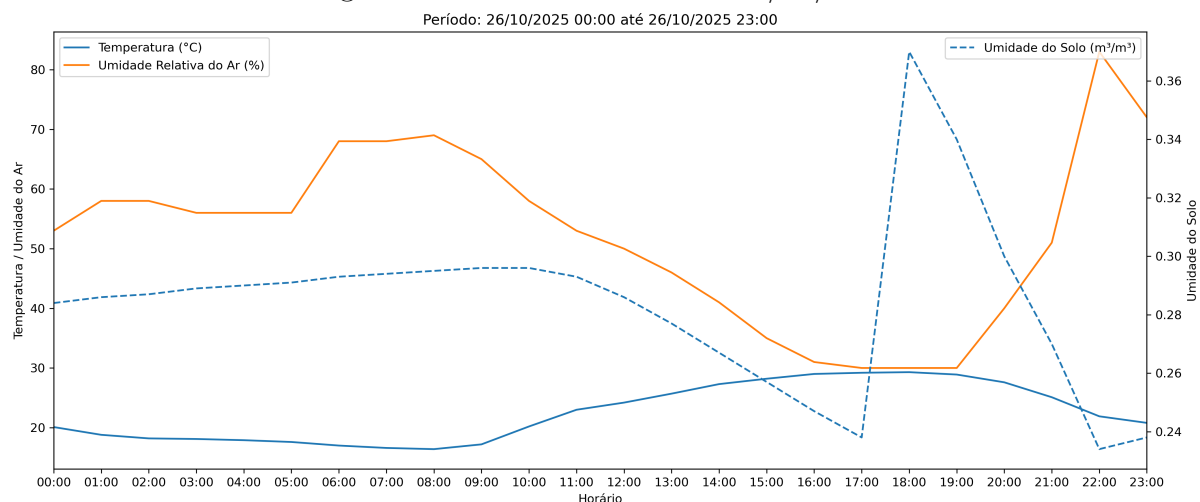
Figura 63: Monitoramento dia 25/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Para o dia 26/10/2025, manteve-se um padrão semelhante, com umidade do ar predominantemente abaixo de 60%, refletindo diretamente na umidade do solo, que permaneceu em torno de 26%. Esse comportamento reforça a correlação entre as variáveis ambientais monitoradas.

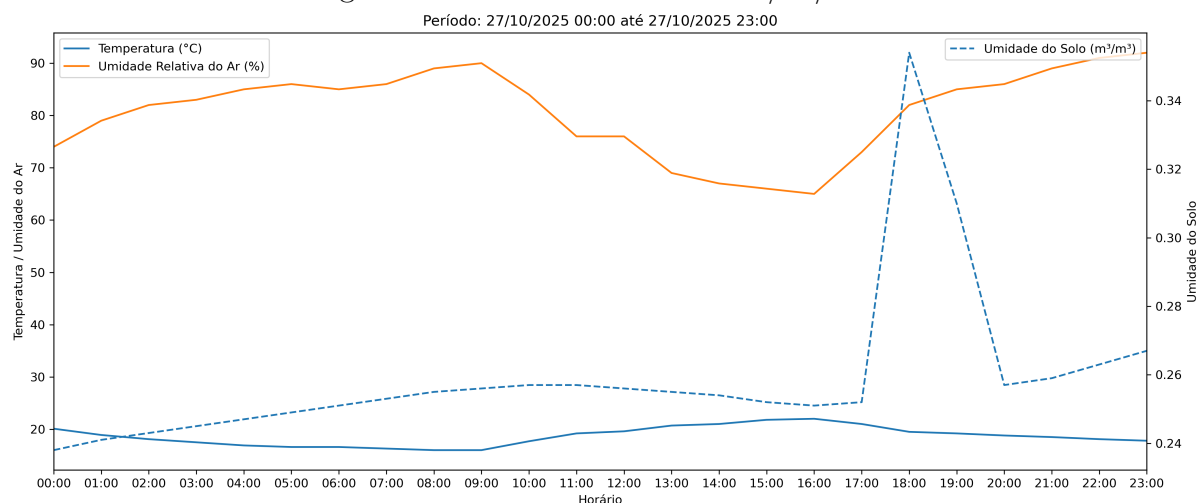
Figura 64: Monitoramento dia 26/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Já no dia 27/10/2025, houve uma mudança significativa nas condições climáticas, com alta umidade relativa do ar ao longo de todo o dia (superior a 70%). Esse cenário favoreceu a retenção hídrica no solo, sendo observado um leve aumento da umidade ao longo do tempo, inclusive após o período de irrigação, indicando menor taxa de evaporação.

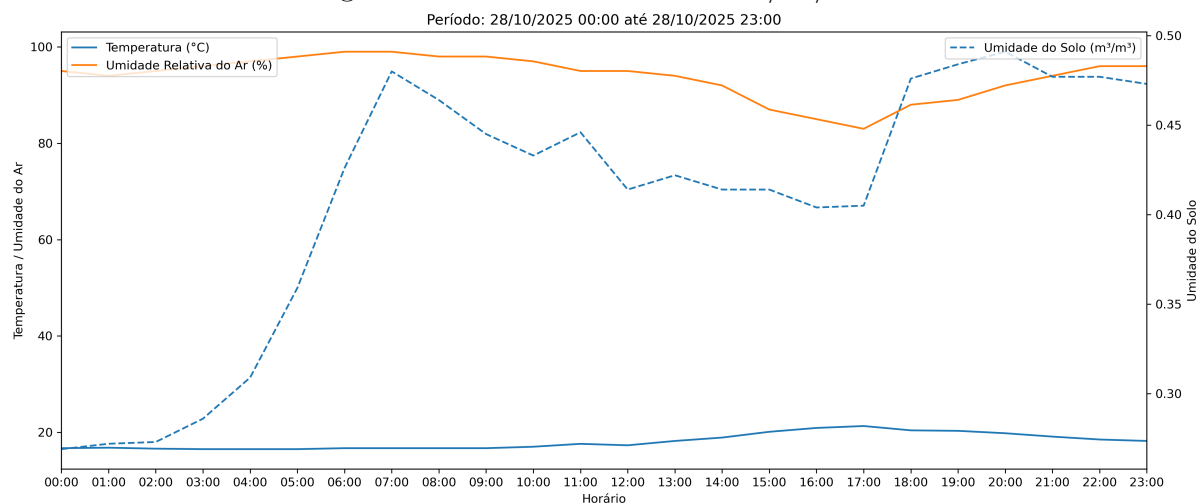
Figura 65: Monitoramento dia 27/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

No dia 28/10/2025, foi registrado um dos comportamentos mais atípicos da semana, com ocorrência de chuva intensa durante a madrugada. A elevada umidade do ar, associada às temperaturas mais baixas (inferiores a 20°C), contribuiu para a manutenção da umidade do solo acima de 40% ao longo de grande parte do dia, reduzindo significativamente a evapotranspiração.

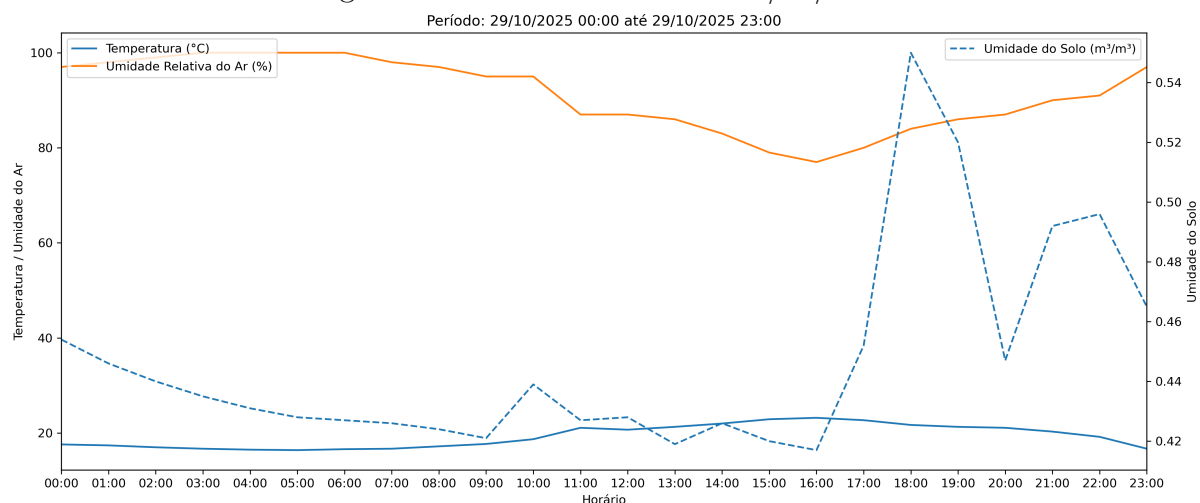
Figura 66: Monitoramento dia 28/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Para o dia 29/10/2025, observou-se a ocorrência de múltiplos picos na umidade do solo ao longo do dia, associados a eventos de garoa e chuvas de curta duração. A umidade relativa do ar permaneceu elevada (acima de 80%), contribuindo para a manutenção da umidade do solo em níveis elevados mesmo após os períodos de irrigação.

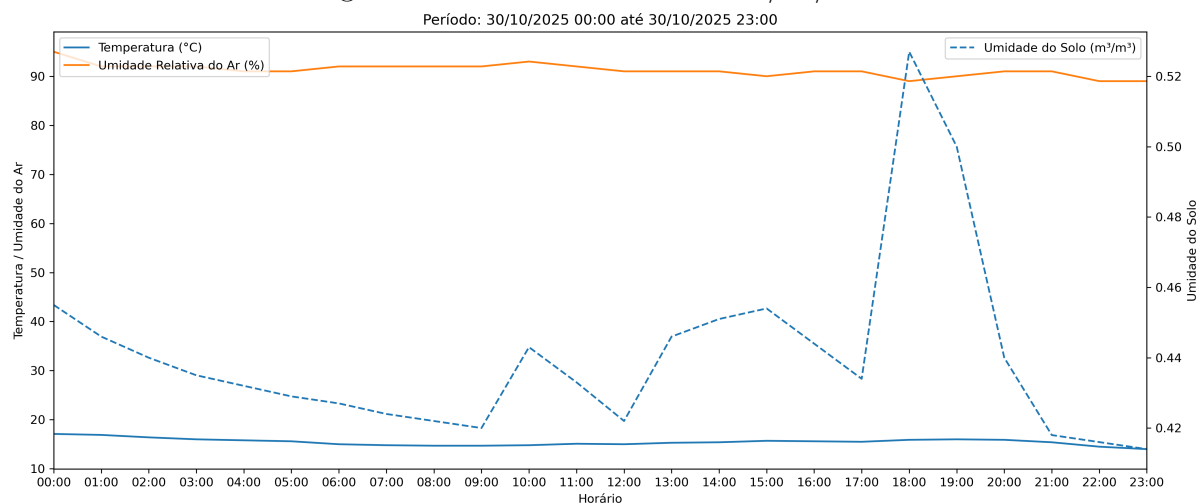
Figura 67: Monitoramento dia 29/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

No dia 30/10/2025, as condições de alta umidade persistiram, com valores superiores a 90% ao longo de praticamente todo o dia. Pequenos picos na umidade do solo indicam a continuidade de eventos de chuva leve. No entanto, mesmo nesse cenário, foi observada uma queda relativamente rápida na umidade do solo após a irrigação, possivelmente associada à ação de ventos mais intensos.

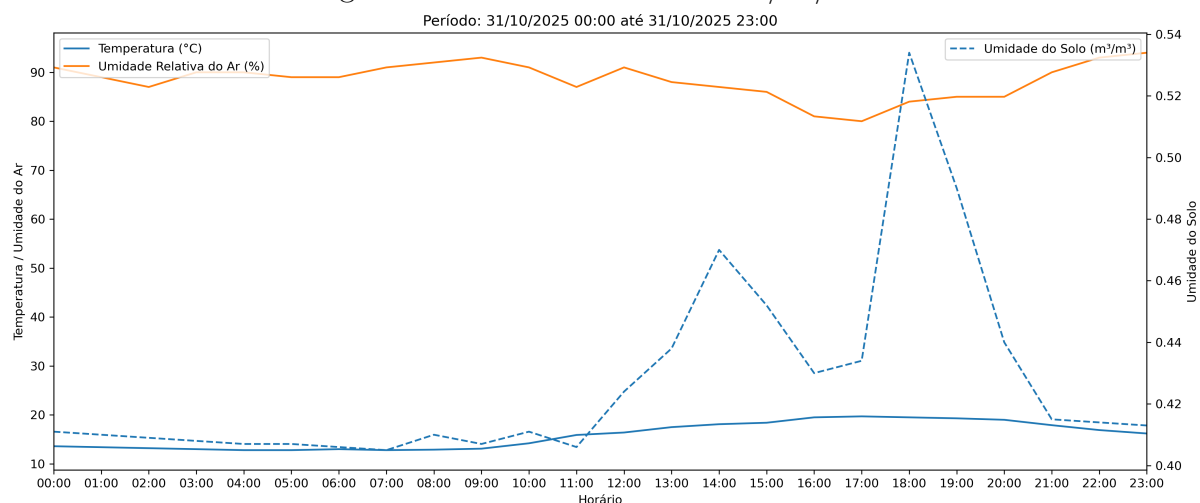
Figura 68: Monitoramento dia 30/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Para o dia 31/10/2025, observou-se a manutenção de altos níveis de umidade relativa do ar, próximos de 90%, com aumento gradual da umidade do solo ao longo do dia. Após a irrigação, verificou-se o comportamento típico de aumento seguido de queda, indicando limitação na capacidade de retenção hídrica do substrato.

Figura 69: Monitoramento dia 31/10/2025.



Fonte: Próprio Autor

Figura 70: Resultados observados após a sétima semana de monitoramento.



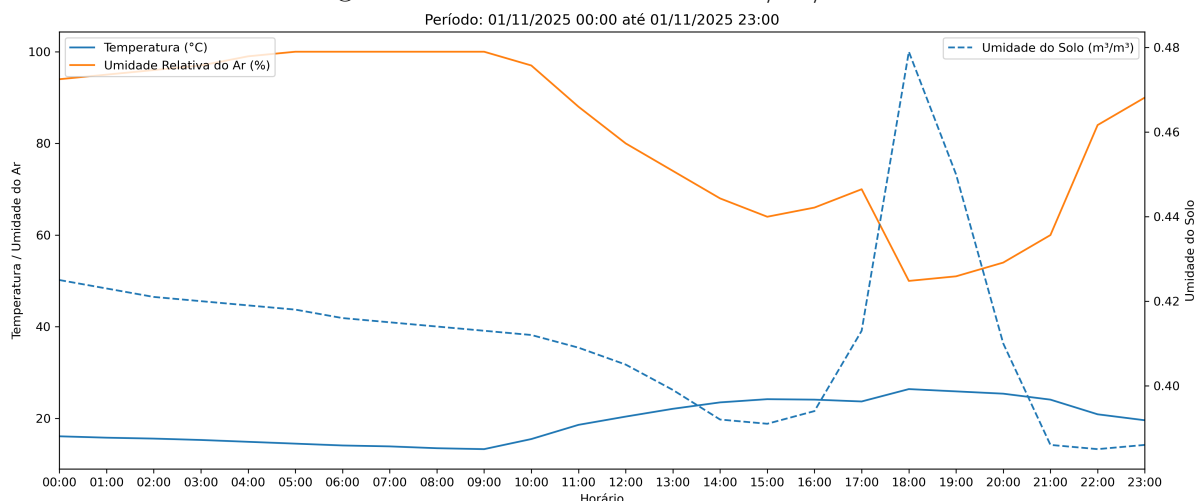
Fonte: Próprio Autor

De forma geral, a sétima semana foi caracterizada por um aumento significativo na disponibilidade hídrica, principalmente devido à ocorrência de chuvas. Esse fator refletiu diretamente no desenvolvimento da planta, sendo observado aumento no volume de folhas e maior ocupação do vaso pelos ramos. A coloração do solo também se apresentou mais escura, indicando maior teor de umidade. Além disso, o sistema demonstrou estabilidade operacional ao longo de todo o período, sem falhas ou oscilações relevantes nas leituras dos sensores.

5.1.8 Semana 8

Iniciando-se a oitava semana de monitoramento, começando esta no dia 1 de outubro, chegamos nas ultimas semanas de monitoramento para o acompanhamento do crescimento da planta *Phyllanthus*, onde o objetivo consiste em acompanhar a coloração das plantas e a umidade do solo de forma frequente, tentando-se deixa-lo na melhor condição possível para o melhor coloração das folhas e aspecto saudável da mesma, dando-se então inicio a monitoramento através dos dados coletados podemos observar o seguinte gráfico para o dia 1.

Figura 71: Monitoramento dia 01/11/2025.

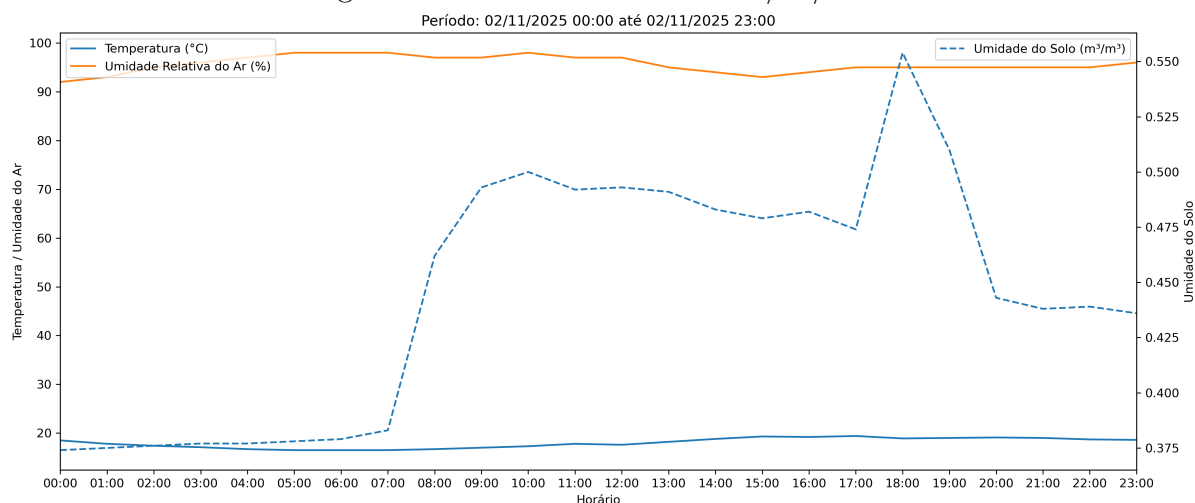


Fonte: Próprio Autor

O mesmo comportamento observado em dias anteriores se repete aqui, com detalhes para a queda da umidade ao longo de três horas após a irrigação, todavia percebe-se que mesmo com este declínio a umidade do solo ainda permanece próximo aos 40%, o que qualifica o solo para uma condição ideale pode ser justificado pela alta temperatura do ar a partir das 16:00 evidenciando um aumento da evapotranspiração da água do solo, o que já ocorreu em dias com condições de temperatura semelhantes.

Para o dia 02/11/2025 seguimos com as análises dos dados coletados através do gráfico a seguir:

Figura 72: Monitoramento dia 02/11/2025.

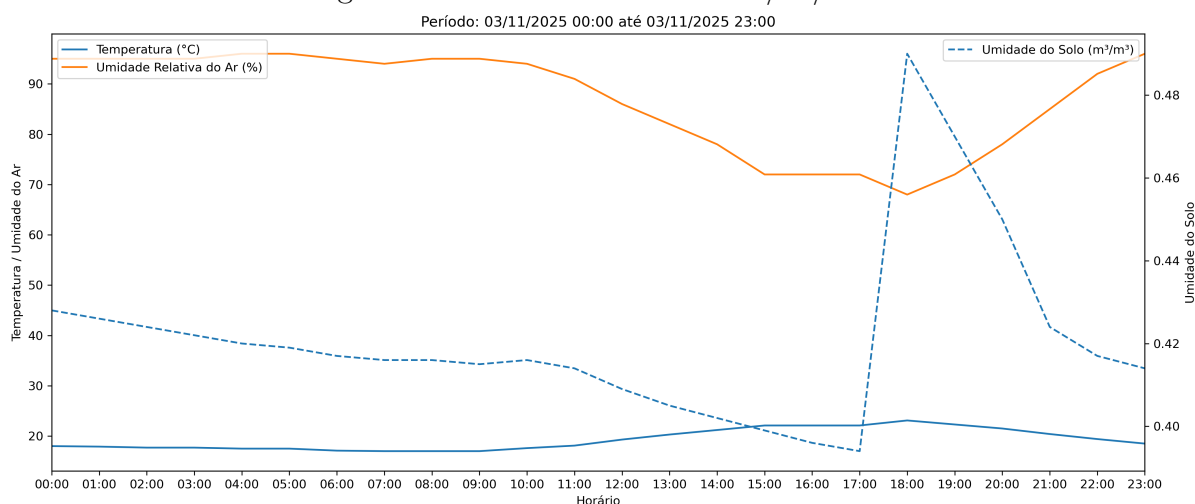


Fonte: Próprio Autor

Observa-se ao longo do dia uma umidade relativa do ar acima de 90%, e após às 7 horas observamos um aumento da umidade relativa da umidade do solo, o que indica uma chuva constante que se estende até aproximadamente 17:00, percebemos que para este dia a umidade se mantém acima de 42% indicando uma ótima condição do solo, com as baixas temperaturas abaixo de 20°C também não se observa de forma significativa a perda de umidade do solo.

Dando prosseguimento com as análises para o dia 03/11/2025 podemos analisar os dados através do gráfico a seguir:

Figura 73: Monitoramento dia 03/11/2025.

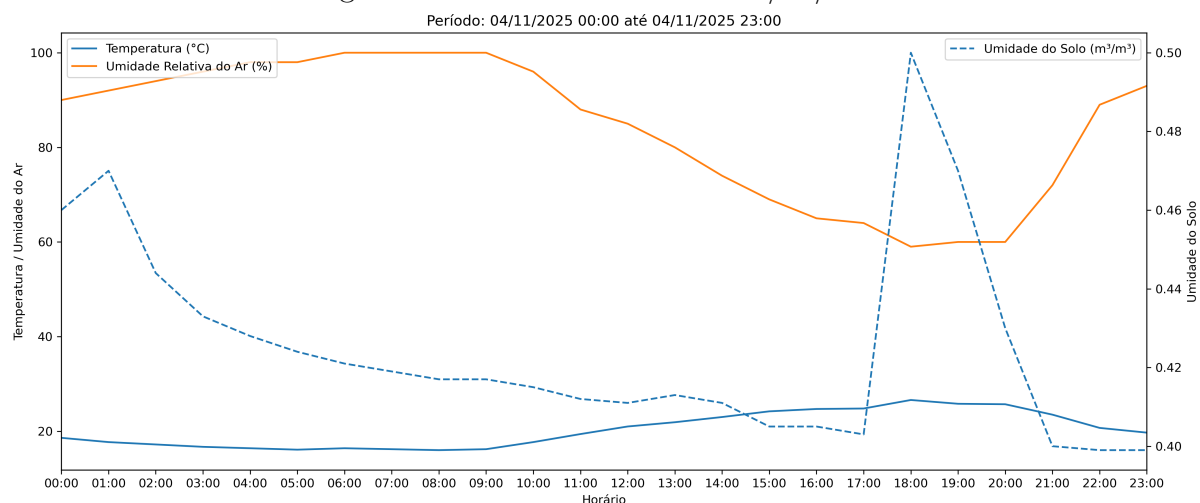


Fonte: Próprio Autor

Podemos perceber que neste dia não houve chuvas e a queda de umidade relativa do ar que acontece às 10:00h voltou a acontecer, tendo seu menor índice às 18:00 com valor de aproximadamente 70%, o que ainda é considerado uma alta umidade do ar, a temperatura ficou próxima dos 22°C ao longo de todo o dia, e após o período de irrigação percebe-se que a umidade do solo ficou próxima aos 42%.

Seguindo-se para o quarto dia da oitava semana de monitoramento podemos acompanhar as condições do solo através do seguinte gráfico:

Figura 74: Monitoramento dia 04/11/2025.

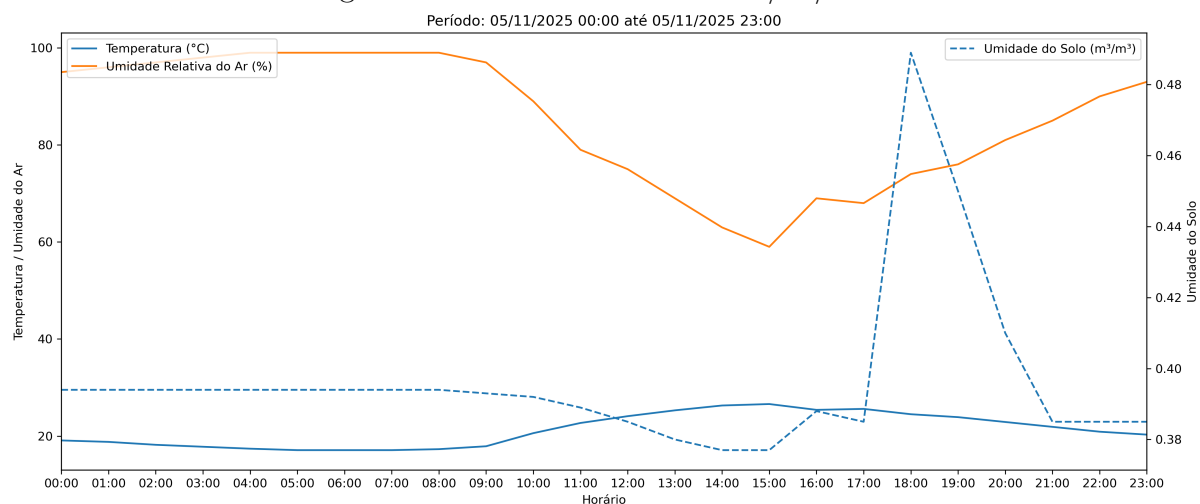


Fonte: Próprio Autor

Podemos perceber que no período da madrugada deste dia houve uma incidência de chuva onde a mesma ocorreu na parte da 1:00h da manhã, observa-se isto pelo pico de umidade do solo observado, podemos observar a queda da umidade do solo ao longo do tempo, a condição de decaimento da umidade do solo após a irrigação ainda permanece, a mesma é acelerada devido a baixa umidade relativa do ar no momento, se encontrando na casa dos 60% das 18:00 até aproximadamente às 21:00.

Prosseguindo-se para a análise dos resultados do dia 05/11/2025 temos:

Figura 75: Monitoramento dia 05/11/2025.

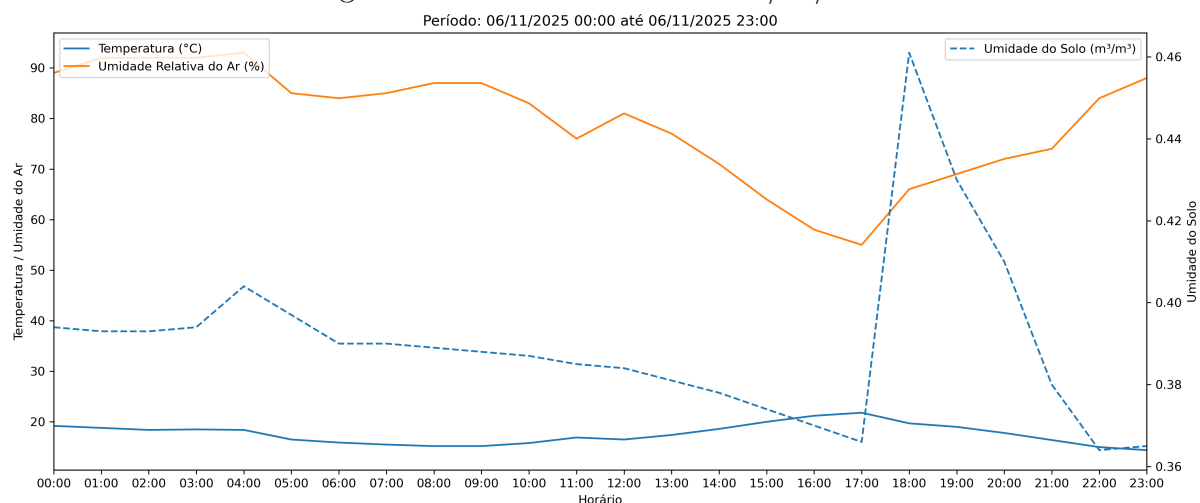


Fonte: Próprio Autor

Neste dia percebe-se uma temperatura média do ar acima dos 20°C ao longo do dia, o que indica uma diminuição da umidade relativa do solo e do ar, o mesmo pode ser observado a partir das 9:00 onde a umidade relativa do ar diminui em consonância com a umidade do solo, um leve aumento da umidade do ar é observado às 15:00h.

Para o dia 06/11/2025 os dados podem ser avaliados pelo gráfico a seguir:

Figura 76: Monitoramento dia 06/11/2025.

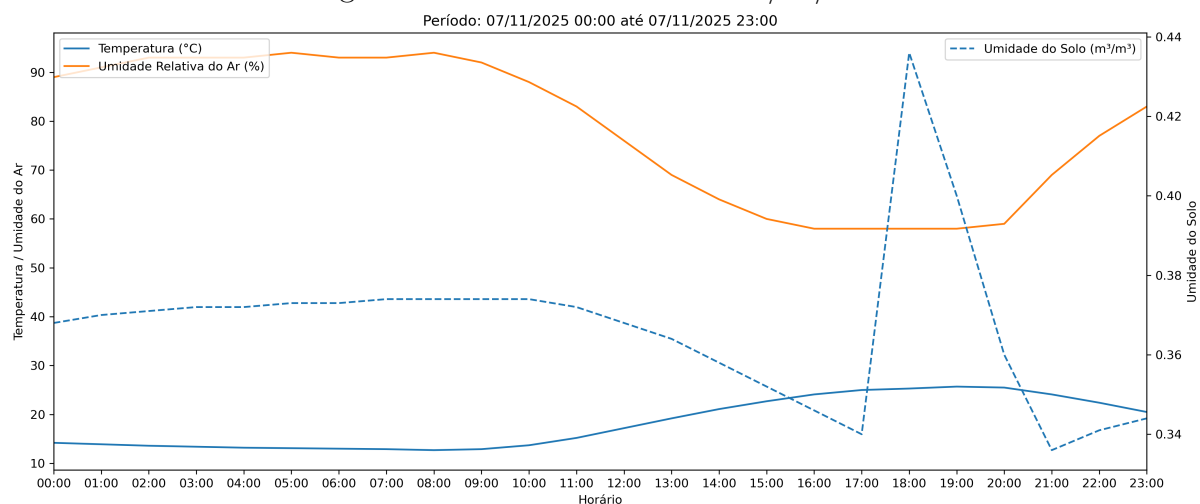


Fonte: Próprio Autor

Ao longo da madrugada pode-se observar um pequeno aumento da umidade do solo, isto pode ser condicionado a pequenos serenões ou neblina no momento, a alta umidade do ar indica esta possibilidade, a umidade do ar decai junto com a umidade do solo a partir das 12:00h tendo seu menor pico às 17:00h e o mesmo platô após o período de irrigação ainda é observado.

Para o ultimo dia da semana 8 os resultados podem ser observados através do seguinte gráfico:

Figura 77: Monitoramento dia 07/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

O comportamento de dias anteriores se repete, onde não há incidência da chuva e a umidade relativa do ar fica alta no início do dia e diminui a partir das 9:00h e volta a subir no período noturno, a umidade relativa do solo se encontra na faixa dos 35% ao final do dia,

Figura 78: Resultados observados após a oitava semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

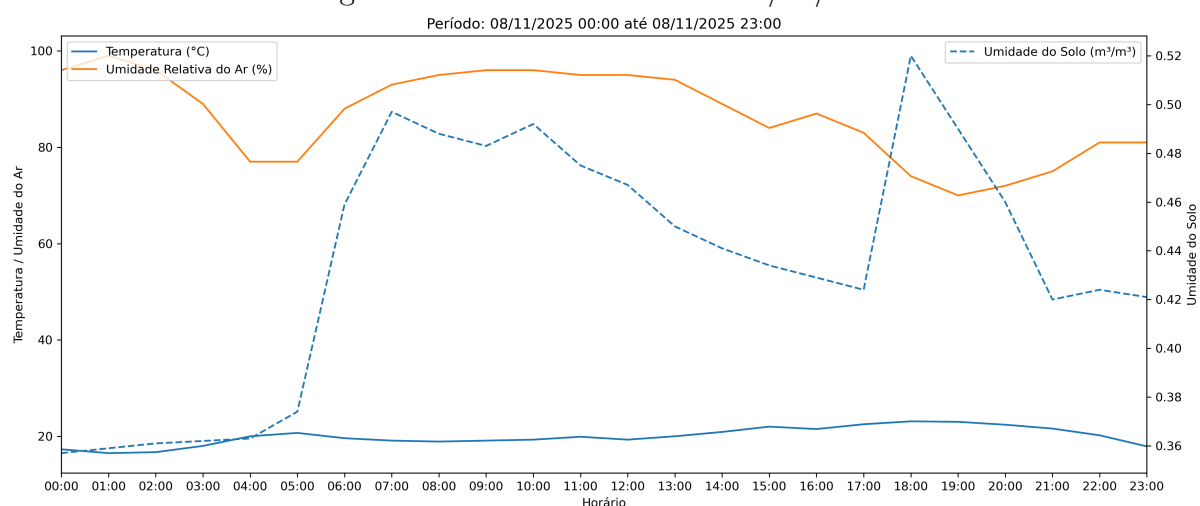
Pode-se observar claramente o aumento da área verde nas plantas e o aumento no diâmetro dos galhos, percebe-se que a condição do solo se encontra em uma boa coloração sem excesso de água ou falta da mesma, o que não era observado nas primeiras semanas, isto mostra que através dos dados observados pode-se encontrar a condição ideal para o melhor crescimento da planta em questão.

5.1.9 Semana 9

Na nona semana de monitoramento, correspondente à fase final do ciclo da planta, esperava-se o início da formação de sementes. De modo geral, os dados indicam uma predominância de condições mais secas ao longo da semana, com poucos eventos de precipitação e maior influência da temperatura na dinâmica da umidade do solo.

No dia 08/11/2025, observou-se um comportamento distinto em relação aos demais dias, com ocorrência de garoa durante a madrugada e manhã, evidenciada pelo aumento simultâneo da umidade do ar e do solo. Esse evento contribuiu para a manutenção da umidade do solo em valores acima de 40%, mesmo após o período de irrigação.

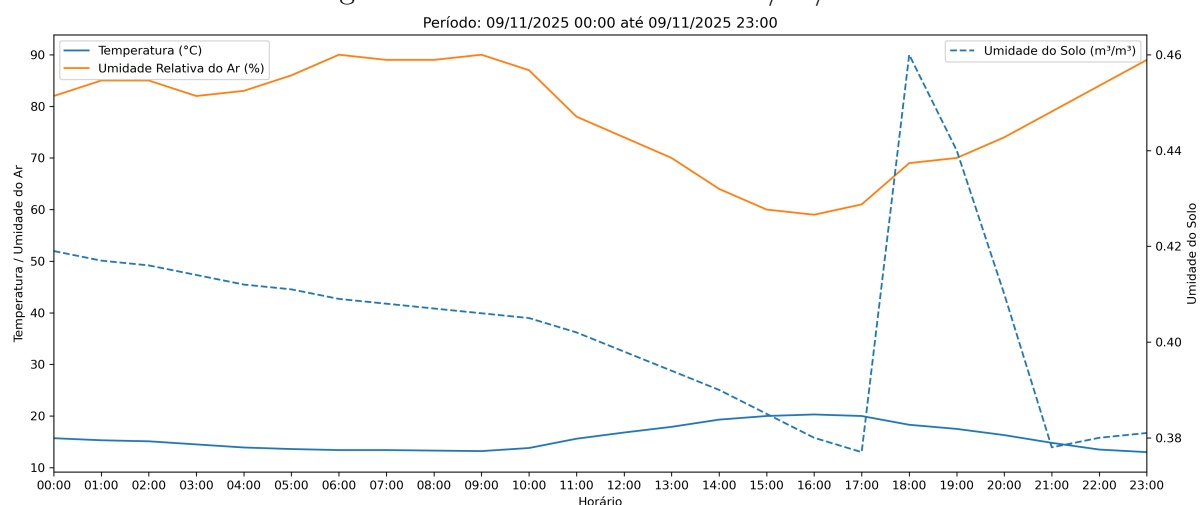
Figura 79: Monitoramento dia 08/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

A partir do dia 09/11/2025, nota-se o retorno ao padrão típico de dias sem precipitação, caracterizado pela redução da umidade relativa do ar ao longo do período diurno e consequente diminuição da umidade do solo, com recuperação parcial apenas após a irrigação.

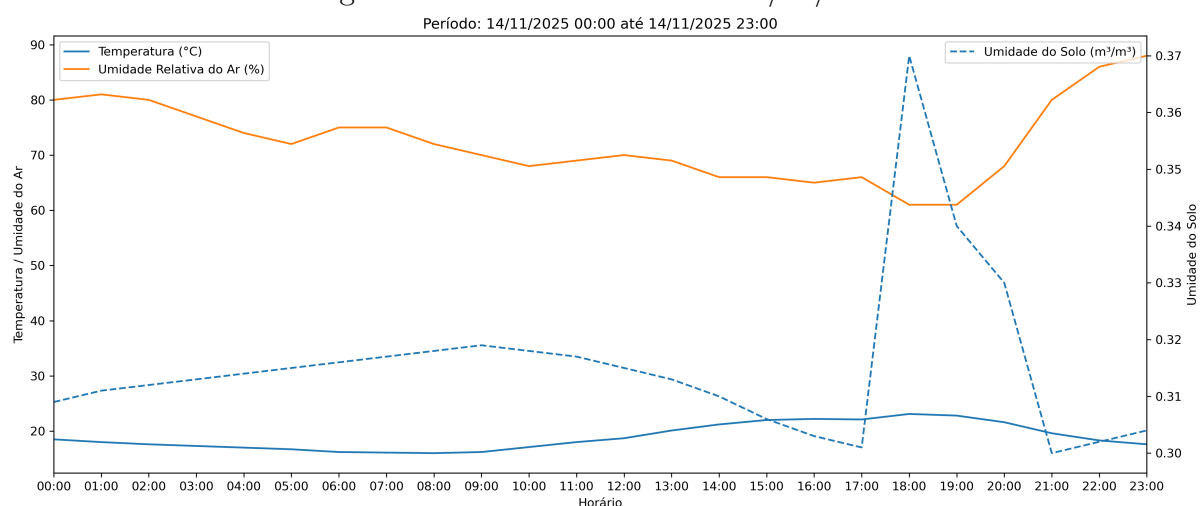
Figura 80: Monitoramento dia 09/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

Entre os dias 10/11/2025 e 14/11/2025, esse comportamento se manteve praticamente constante, sem ocorrência de eventos atípicos relevantes. A combinação de temperaturas mais elevadas e redução da umidade do ar resultou em valores de umidade do solo predominantemente abaixo de 40%, atingindo aproximadamente 31% nos momentos mais críticos. Esse padrão reforça a relação direta entre as variáveis ambientais monitoradas e a resposta do solo às condições climáticas.

Figura 81: Monitoramento dia 14/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

Ao final da semana, o registro visual do plantio evidencia um solo mais seco em comparação às semanas anteriores. Apesar disso, as plantas ainda apresentam folhas com coloração verde intensa e desenvolvimento contínuo, indicando capacidade de adaptação às variações hídricas, mesmo fora da faixa considerada ideal.

Figura 82: Resultados observados após a nona semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

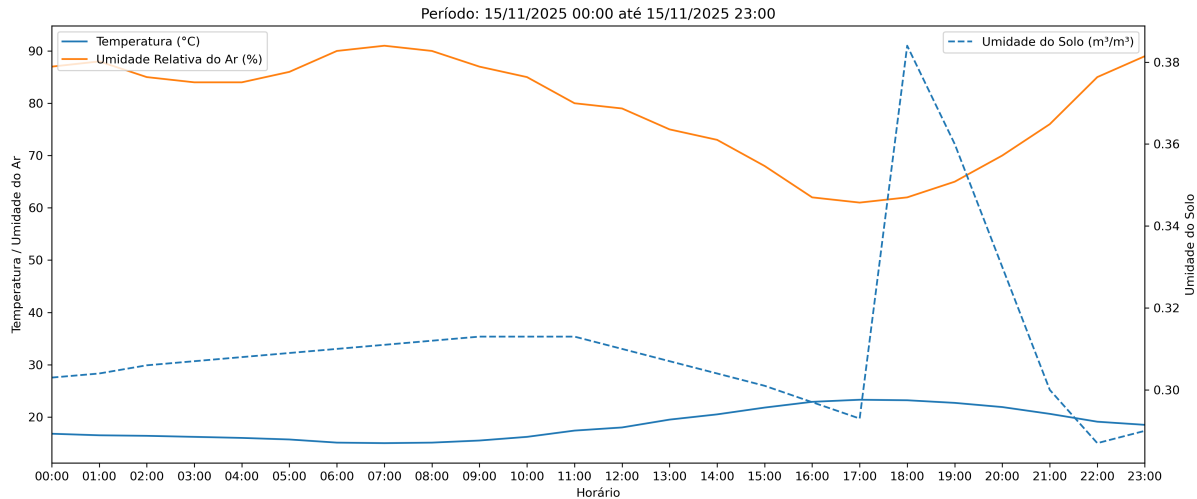
5.1.10 Semana 10

Na décima semana de monitoramento, correspondente à fase final do ciclo da planta, observa-se o início do desenvolvimento das sementes. Nesse período, o foco passa a ser a manutenção de condições adequadas de umidade do solo para sustentar essa etapa final.

De forma geral, os dados indicam a continuidade de um padrão já observado em semanas anteriores, com alternância entre dias secos e episódios pontuais de precipitação. Nos dias

15/11/2025, 19/11/2025, 20/11/2025 e 21/11/2025, predominam condições típicas de tempo seco, caracterizadas pela redução da umidade do ar ao longo do dia e consequente diminuição da umidade do solo, que se manteve, em média, na faixa de 30% a 35%. Esse comportamento reforça a influência direta das condições atmosféricas sobre a retenção hídrica do solo, especialmente em períodos de maior temperatura.

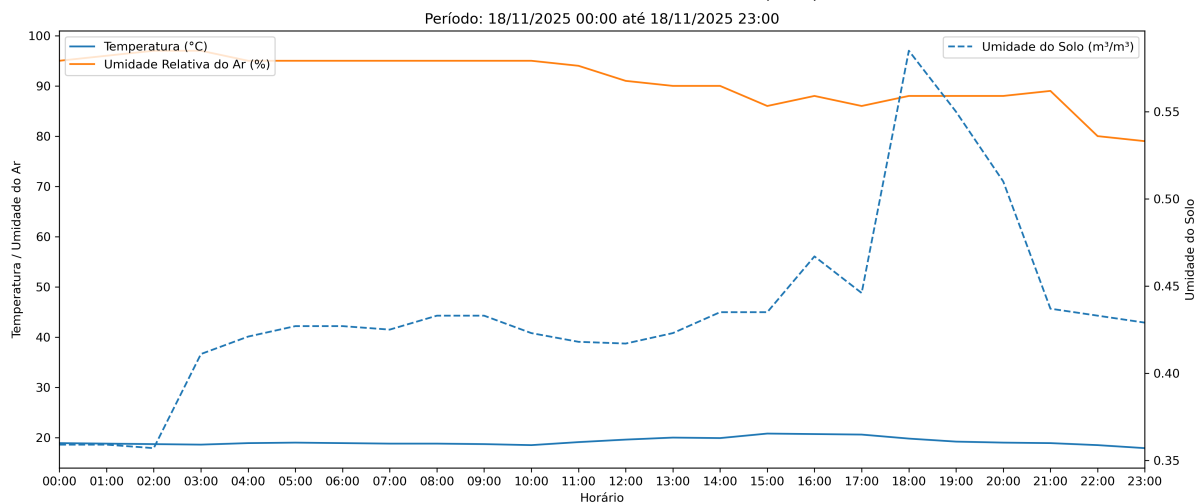
Figura 83: Monitoramento dia 15/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

Em contraste, os dias 16/11/2025 e 18/11/2025 apresentaram comportamento distinto, com ocorrência de chuvas que contribuíram para o aumento da umidade do solo. No dia 16/11/2025, a elevação gradual da umidade ao longo da madrugada indica precipitação contínua, resultando em maior retenção hídrica devido às temperaturas mais amenas. Já no dia 18/11/2025, múltiplos picos de umidade ao longo do dia evidenciam eventos de chuva intermitentes, mantendo a umidade do solo em níveis mais elevados, próximos a 40% ou superiores.

Figura 84: Monitoramento dia 18/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

O dia 17/11/2025 apresentou comportamento intermediário, com condições de maior umidade relativa do ar ao longo do dia, refletindo em uma leve estabilização da umidade do solo,

sem variações abruptas.

Ao final da semana, observa-se que, mesmo com oscilações nas condições ambientais, a umidade do solo se manteve majoritariamente dentro de uma faixa adequada para o desenvolvimento da planta, variando entre aproximadamente 30% e 40%.

Figura 85: Resultados observados após a décima semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

Visualmente, nota-se um avanço significativo no desenvolvimento vegetativo, com aumento do volume foliar e maior densidade dos caules. Além disso, já é possível identificar claramente a formação das sementes, indicando que a planta se encontra próxima do final de seu ciclo.

Figura 86: Resultados observados após a décima semana de monitoramento nas sementes.



Fonte: Próprio Autor

O desenvolvimento das sementes encontra-se em estágio avançado, restando apenas o acompanhamento da última semana para a observação do processo de maturação final e possível dispersão.

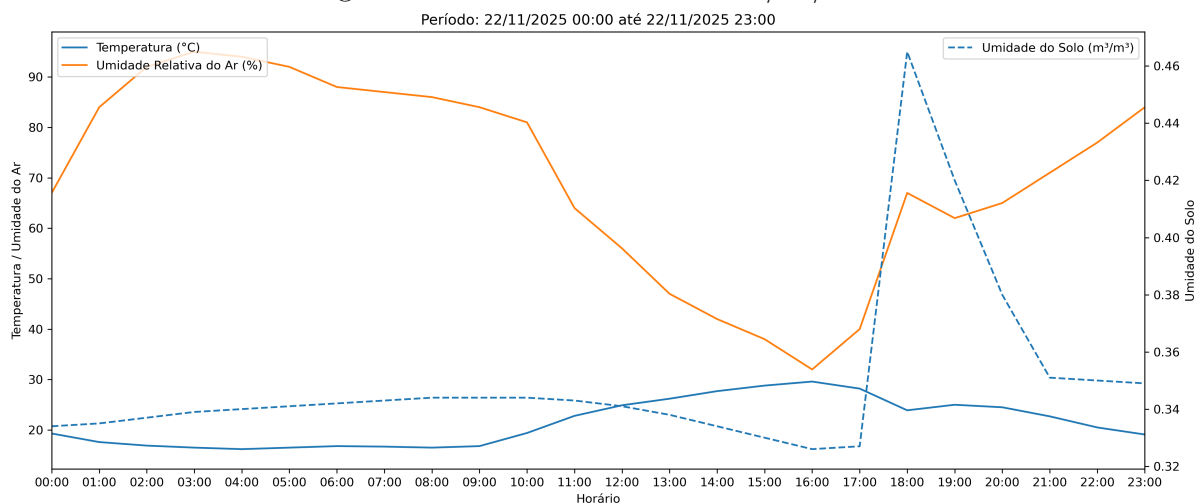
5.1.11 Semana 11

Na décima primeira e última semana de monitoramento, a planta encontra-se na fase final de desenvolvimento, com as sementes já formadas e próximas da maturação completa. Nesse estágio, o acompanhamento teve como objetivo avaliar o comportamento final das variáveis ambientais e sua influência sobre a condição do solo e o estado geral da planta.

De forma geral, a semana foi caracterizada por predominância de dias quentes e com baixa ocorrência de precipitações, intercalados por eventos pontuais de chuva que impactaram diretamente na umidade do solo.

No dia 22/11/2025, observou-se um comportamento típico de dia quente e seco, com baixa retenção de umidade no solo, que se manteve próxima de 35%, mesmo após a irrigação, evidenciando maior taxa de evapotranspiração.

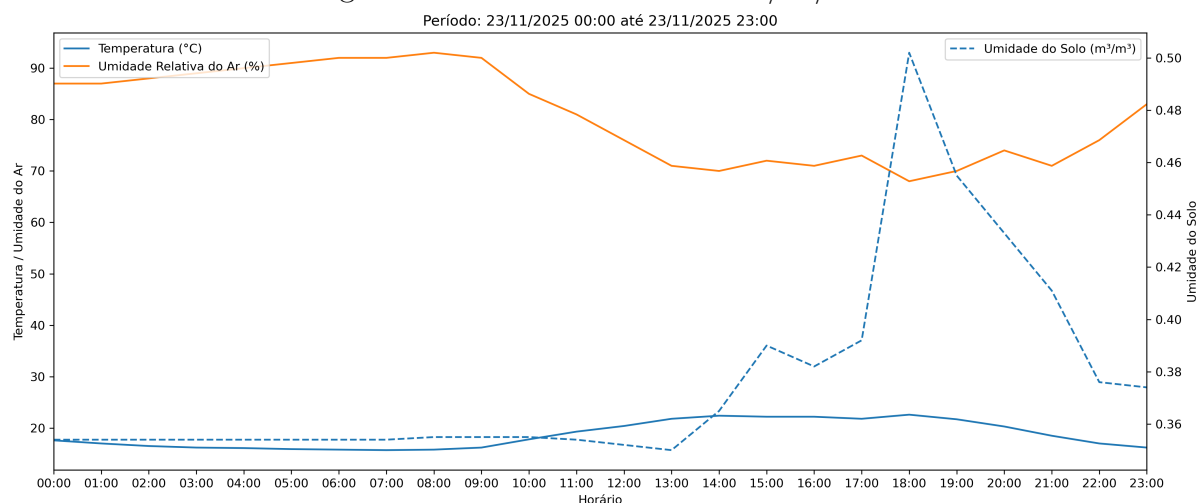
Figura 87: Monitoramento dia 22/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

No dia 23/11/2025, ocorreu um leve desvio desse padrão, com aumento da umidade do ar e indicativos de precipitação no período da tarde, refletidos em um pequeno aumento na umidade do solo, que atingiu valores próximos a 38%.

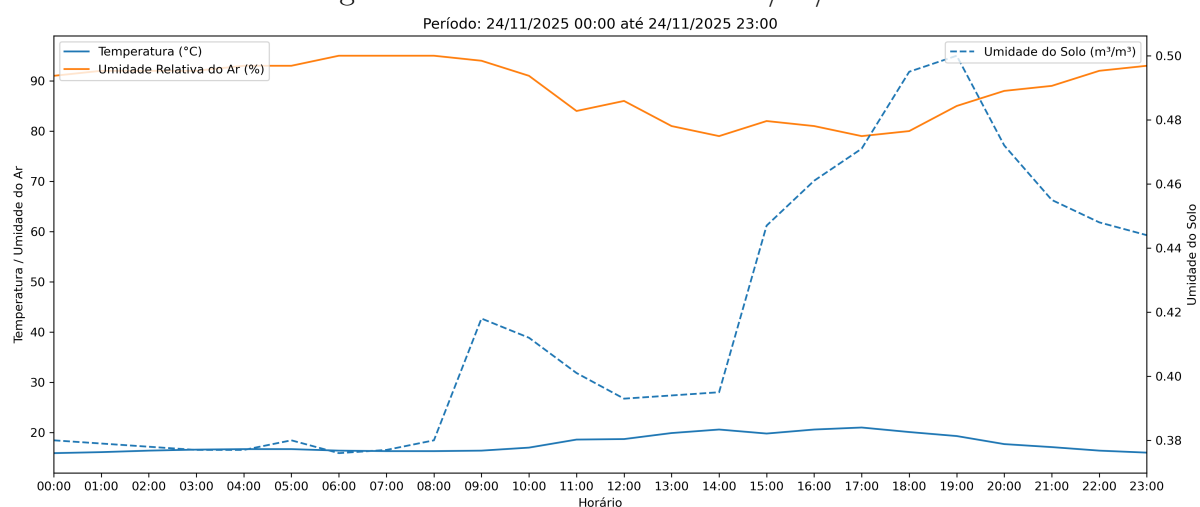
Figura 88: Monitoramento dia 23/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

O dia 24/11/2025 apresentou comportamento mais atípico, com temperaturas mais amenas e ocorrência de chuvas em diferentes momentos do dia, resultando em maior retenção hídrica no solo, com valores superiores a 40%, destacando a influência direta da precipitação na manutenção da umidade.

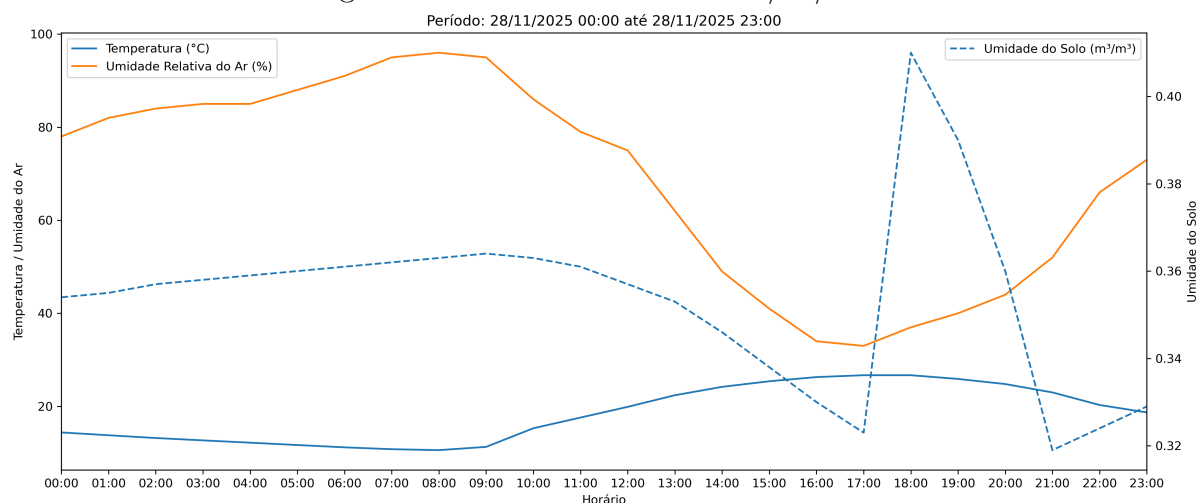
Figura 89: Monitoramento dia 24/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

Nos dias subsequentes (25/11/2025 a 28/11/2025), observa-se o retorno ao padrão seco, com aumento da temperatura do ar e redução da umidade relativa, o que resultou em diminuição gradual da umidade do solo, frequentemente abaixo de 40%, mesmo após os eventos de irrigação. Esse comportamento reforça a influência das condições atmosféricas na dinâmica hídrica do solo, especialmente em ambientes expostos.

Figura 90: Monitoramento dia 28/11/2025.



Fonte: Próprio Autor

Ao final do período de monitoramento, a análise visual evidencia o desenvolvimento completo da planta, com elevado volume foliar e sementes plenamente formadas. Nota-se também a cobertura do solo pelas folhas, indicando um estágio avançado de crescimento.

Figura 91: Resultados observados após a décima primeira semana de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

Em observação mais detalhada, é possível identificar claramente as sementes ao longo dos ramos, confirmando a conclusão do ciclo da planta.

Figura 92: Resultados observados ao crescimento das sementes.



Fonte: Próprio Autor

Dessa forma, conclui-se o período experimental, no qual foi possível acompanhar todas as fases do desenvolvimento da planta, desde o plantio até a formação das sementes, evidenciando a eficiência do sistema de monitoramento na coleta e análise das variáveis ambientais ao longo do tempo.

5.2 Análise do banco de dados obtido durante plantio

A análise do banco de dados obtido ao longo do período experimental permitiu a descrição das variáveis monitoradas, bem como a interpretação integrada do comportamento do sistema solo-planta-atmosfera sob condições reais de cultivo. A consistência dos dados ao longo das semanas demonstra que o protótipo, sob condições ideais, foi capaz de cumprir o propósito de monitorar as variáveis indicadas: temperatura, umidade do solo e umidade do ar, conforme esperado em sistemas de agricultura inteligente baseados em sensores (SHARMA et al., 2021; ANJUM et al., 2025).

De maneira geral, observa-se que os dados apresentam forte periodicidade diária, característica típica de sistemas ambientais. A temperatura do ar apresentou elevação progressiva a partir do período da manhã, com inflexão próxima às 10:00h, atingindo valores máximos no período da tarde. Esse comportamento foi recorrente ao longo de toda a série temporal, como evidenciado já na primeira semana de monitoramento (14/09/2025 a 19/09/2025), em que a temperatura variou de aproximadamente 13°C para valores próximos de 25°C, comportamento compatível com padrões térmicos descritos em estudos ambientais aplicados à agricultura (SHARMA et al., 2021).

Em contrapartida, a umidade relativa do ar apresentou comportamento inversamente proporcional, reduzindo à medida que a temperatura se elevava. Essa relação inversa, amplamente descrita na literatura de climatologia e em estudos de monitoramento ambiental (KAMIENSKI et al., 2019; SHARMA et al., 2021), foi reproduzida de forma consistente pelo sistema, indicando que a calibração e funcionamento do sensor DHT11 foram satisfatórios. Tal comportamento pode ser claramente observado no dia 14/09/2025, em que a umidade relativa do ar decresce de aproximadamente 91% para valores inferiores a 50% ao longo do dia.

A análise da umidade do solo revela um comportamento dinâmico, resultante da interação entre eventos de irrigação, condições atmosféricas e características físicas do sistema de cultivo. Observa-se, de forma sistemática, a ocorrência de picos de umidade imediatamente após a irrigação, seguidos por um decaimento temporal, padrão este associado aos processos de infiltração e evapotranspiração, amplamente discutidos em sistemas de irrigação inteligente (KAMIENSKI et al., 2019).

Entretanto, diferentemente de sistemas com maior capacidade de retenção hídrica, não foram observados platôs prolongados de umidade após os eventos de irrigação, especialmente nas primeiras semanas. Esse comportamento pode ser atribuído ao reduzido volume do vaso e à baixa capacidade de retenção do substrato utilizado, que favorecem a drenagem gravitacional e intensificam os processos de evaporação, conforme discutido em estudos sobre manejo hídrico em pequenos sistemas agrícolas (CAPELLI, 2016). Esse efeito foi particularmente evidente na primeira semana, onde os picos de umidade apresentaram curta duração, com rápida dissipação ao longo das horas subsequentes.

Adicionalmente, o banco de dados evidencia a influência das condições meteorológicas externas sobre o sistema monitorado. Episódios de precipitação, como os observados nos dias **21/09/2025** e **08/10/2025**, resultaram em elevação significativa da umidade do solo, mesmo na ausência de irrigação. Nesses períodos, observa-se também uma redução na taxa de decaimento da umidade, indicando menor intensidade dos processos de evapotranspiração, comportamento coerente com sistemas agrícolas monitorados por IoT (KAMIENSKI et al., 2019; ANJUM et al., 2025).

Por outro lado, em dias caracterizados por elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, como no dia **30/09/2025**, observou-se uma intensificação da perda de umidade do solo, evidenciada por declínios mais acentuados após os eventos de irrigação. Esse comportamento reforça a influência direta da evapotranspiração no balanço hídrico do sistema, sendo este um dos principais mecanismos de perda de água em ambientes expostos (SHARMA et al., 2021).

Outro aspecto relevante diz respeito à repetibilidade dos padrões observados. Ao longo das diferentes semanas de monitoramento, os comportamentos descritos se mantiveram consistentes, com variações explicáveis pelas condições ambientais externas. Essa repetibilidade reforça a confiabilidade do sistema e indica que os dados obtidos não são fruto de ruídos ou instabilidades, mas sim de fenômenos físicos reais, conforme esperado em sistemas de monitoramento baseados em sensores IoT (ANJUM et al., 2025).

Dessa forma, a análise do banco de dados demonstra que o sistema desenvolvido foi capaz de representar de maneira fiel as interações entre as variáveis ambientais, permitindo não apenas o monitoramento contínuo, mas também a compreensão dos processos físicos que governam o comportamento do solo em pequenas hortas, contribuindo para práticas alinhadas à agricultura sustentável (ONU BRASIL, 2025).

5.3 Análise de crescimento e desenvolvimento da planta

A análise do crescimento e desenvolvimento da planta foi realizada a partir da correlação entre as observações visuais semanais e os dados ambientais registrados, permitindo uma interpretação integrada da resposta da planta às condições impostas pelo meio, conforme abordagens utilizadas em agricultura de precisão (SHARMA et al., 2021).

Na primeira semana de monitoramento, observou-se o início do processo de germinação, com o surgimento das primeiras mudas. Os dados indicam que, nesse período, o solo apresentava níveis relativamente baixos de umidade ao longo do dia, com elevações pontuais associadas à irrigação. Apesar dessas condições não ideais, a germinação ocorreu de forma satisfatória, indicando que a espécie utilizada apresenta tolerância inicial a variações hídricas (AGROLINK, 2025).

Durante a segunda semana, verificou-se um avanço significativo no desenvolvimento das plantas, caracterizado pelo aumento do número de folhas e crescimento dos caules. Esse período coincide com condições ambientais mais favoráveis, incluindo maior umidade relativa do ar e ocorrência de precipitações. A manutenção de níveis mais elevados de umidade do solo por períodos prolongados contribuiu para a intensificação do crescimento vegetativo, conforme descrito em práticas de manejo hídrico (CAPELLI, 2016).

Na terceira semana, mesmo com a ocorrência de dias com menor disponibilidade hídrica, as plantas continuaram apresentando desenvolvimento progressivo. Esse comportamento sugere uma adaptação do sistema radicular, que passa a explorar regiões mais profundas do solo, onde a umidade se mantém por mais tempo, comportamento esperado em sistemas vegetais submetidos a estresse hídrico moderado (SHARMA et al., 2021).

A partir da quarta semana, observou-se uma mudança significativa no padrão de crescimento das plantas, associada ao aumento da frequência de chuvas e à manutenção de elevados níveis de umidade no solo. Conforme evidenciado nos registros visuais, houve melhoria na coloração das folhas, maior densidade foliar e crescimento mais uniforme entre as mudas, indicando melhores condições fisiológicas da planta.

Além disso, os experimentos realizados com diferentes formas de irrigação evidenciaram a capacidade de redistribuição da água no substrato ao longo do tempo. Embora a aplicação de água tenha sido realizada de forma localizada em alguns momentos, os dados indicam que a umidade tende a se homogeneizar no solo, permitindo que o sistema radicular acesse água mesmo em regiões inicialmente não irrigadas diretamente, comportamento observado em sistemas de irrigação automatizada (KAMIENSKI et al., 2019).

De forma geral, o desenvolvimento da planta mostrou-se altamente dependente da disponibilidade hídrica no solo, sendo este o principal fator limitante observado ao longo do experimento. Períodos com maior retenção de água resultaram em crescimento mais acelerado e plantas visualmente mais saudáveis, enquanto períodos mais secos estiveram associados a um crescimento mais lento, porém contínuo.

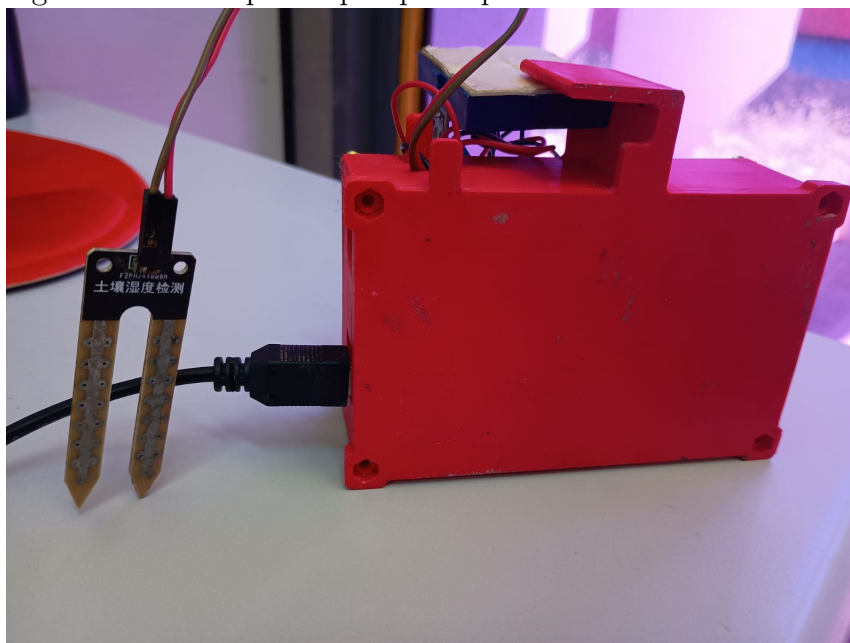
Assim, a correlação entre os dados ambientais e o desenvolvimento da planta evidencia que o sistema de monitoramento foi eficaz não apenas na aquisição de dados, mas também na representação das condições reais de cultivo. Os resultados obtidos validam a aplicabilidade do sistema como ferramenta de apoio ao manejo hídrico em hortas de pequeno porte, permitindo decisões mais assertivas quanto à irrigação e ao acompanhamento do desenvolvimento vegetal, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e uso eficiente de recursos (ONU BRASIL, 2025).

6 Conclusão

O presente trabalho teve como ponto de partida a identificação de um problema real observado durante a disciplina optativa “Engenharia a Serviço da Sociedade”, cujo objetivo era propor soluções aplicáveis a demandas da comunidade local. Nesse contexto, foi selecionada uma horta comunitária na cidade de Ilha Solteira, onde se verificou que o monitoramento hídrico não era realizado de forma sistemática, sendo a irrigação conduzida de maneira empírica pelos responsáveis pelo cultivo. A partir dessa problemática, foi desenvolvido um sistema de monitoramento climático de baixo custo, com foco na coleta, armazenamento e análise de dados ambientais.

Durante o desenvolvimento do protótipo, foi possível observar alguns pontos importantes relacionados à sua montagem e funcionamento. A utilização de conexões elétricas, como jumpers, exige cuidado, pois movimentações ou mau contato podem comprometer a coleta de dados. Nesse sentido, a utilização de uma caixa de proteção mostrou-se essencial para garantir a integridade do sistema. Além disso, a correta alimentação da placa Arduino e a ligação adequada dos sensores são fatores fundamentais para o funcionamento do sistema, principalmente no caso do sensor DHT11, que pode deixar de fornecer leituras caso esteja conectado de forma incorreta. Em relação ao sensor de umidade do solo, observou-se que o mesmo pode sofrer desgaste ao longo do tempo, sendo recomendada sua fixação em um único ponto para evitar variações indesejadas e aumentar sua vida útil, com isto podemos analisar as condições como o protótipo ficou após as semanas de monitoramento caso seja necessária alguma manutenção ou troca de sensor.

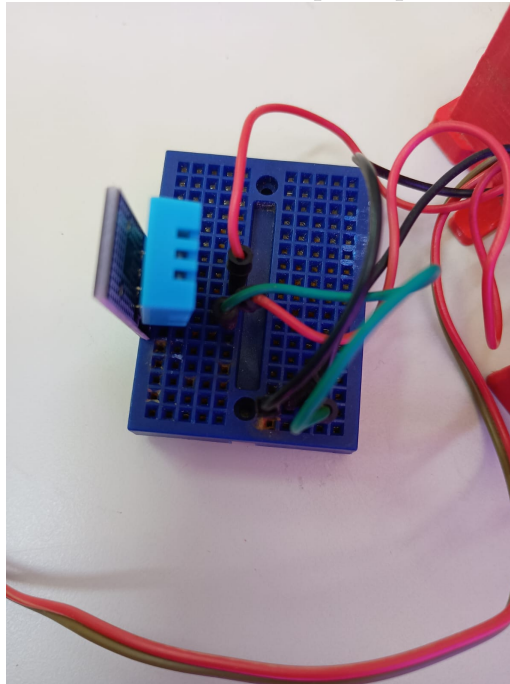
Figura 93: Caixa protótipo após o processo de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

Podemos observar que não houveram danos significativos na caixa que engloba o arduino uno durante todo o período de monitoramento, mesmo após 11 semanas a mesma apresenta boas condições de conservação.

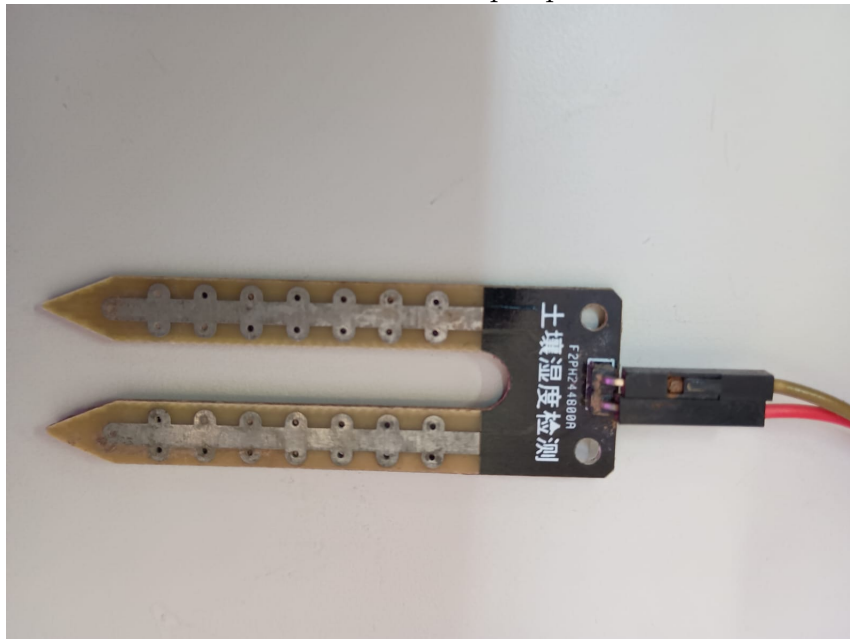
Figura 94: Protoboard e sensor DHT11 após o processo de monitoramento.



Fonte: Próprio Autor

O Sensor DHT11 acabou sofrendo uma pequena deformação na sua estrutura devido a ventos fortes que acabou recebendo, mas nada que impedisse o seu correto funcionamento, podemos observar alguns pontos de oxidação na protoboard devido a chuvas e acumulo de água, todavia o mesmo ainda se encontrava em pleno estado funcional durante todo o período.

Figura 95: Sensor de umidade do solo após período de coleta de dados.



Fonte: Próprio Autor

Podemos observar um certo desgaste nas conexões dos jumpers fêmeas ao sensor de umidade do solo e podemos observar também desgaste nas sondas que foram conectadas no solo. Como

previsto, as mesmas acabaram sofrendo desgaste ao longo das 11 semanas, mas continuaram fornecendo informações consistentes quanto à umidade relativa do solo.

A partir da análise dos dados coletados durante o período de monitoramento, foi possível identificar padrões consistentes entre as variáveis analisadas. Observou-se que o aumento da temperatura do ar está associado à redução da umidade relativa do ar e à diminuição da umidade do solo, evidenciando a influência direta dos processos de evapotranspiração. Além disso, a irrigação apresentou comportamento esperado, com aumento da umidade do solo seguido de uma redução gradual ao longo do tempo. Também foi possível identificar eventos naturais, como chuvas, por meio das variações nos dados, o que demonstra a capacidade do sistema em responder às condições reais do ambiente.

No que diz respeito à calibração, o modelo adotado para o sensor de umidade do solo mostrou-se adequado para a proposta do trabalho, permitindo uma conversão prática dos valores lidos em dados interpretáveis. Da mesma forma, a comparação dos dados do sensor DHT11 com informações de referência indicou que os valores obtidos estão dentro das faixas de erro esperadas, sendo suficientes para a aplicação proposta. Ainda assim, é importante ressaltar que se trata de sensores de baixo custo, o que implica em limitações quanto à precisão dos dados.

Dessa forma, pode-se afirmar que o objetivo geral do trabalho foi atingido, uma vez que o sistema desenvolvido foi capaz de realizar a coleta de dados ambientais, armazená-los de forma estruturada e permitir sua análise por meio de ferramentas como o Excel e o Power BI. A integração entre Arduino, Python e Power BI mostrou-se eficiente, possibilitando não apenas o monitoramento, mas também a visualização dos dados de maneira clara e acessível.

Do ponto de vista de aplicação, o sistema apresenta potencial para uso em pequenas hortas, agricultura urbana e até mesmo em contextos de agricultura familiar, principalmente por se tratar de uma solução de baixo custo e de fácil implementação. A criação de um banco de dados ao longo do tempo permite ao usuário entender melhor o comportamento das variáveis ambientais, auxiliando na tomada de decisão quanto à irrigação e manejo da cultura.

Entretanto, o sistema ainda apresenta algumas limitações. Entre elas, destacam-se a precisão limitada dos sensores utilizados, o desgaste do sensor de umidade do solo ao longo do tempo, a necessidade de alimentação via USB e a ausência de um sistema automatizado de irrigação. Além disso, a coleta de dados ainda depende de conexão com o computador, o que pode limitar sua aplicação em ambientes mais afastados.

Como perspectiva de evolução do projeto, destaca-se a possibilidade de implementação de um sistema de irrigação automática, no qual os dados de umidade do solo poderiam ser utilizados em tempo real para acionar atuadores, como bombas ou válvulas solenóides, de forma autônoma. Essa abordagem permitiria o desenvolvimento de um sistema de controle fechado, aumentando a eficiência no uso da água e reduzindo a necessidade de intervenção manual. Além disso, a integração com módulos de comunicação sem fio possibilitaria a criação de sistemas remotos, ampliando ainda mais o potencial de aplicação da solução proposta.

Em relação ao nível de maturidade tecnológica, o sistema pode ser considerado um protótipo funcional validado em condições reais, representando um avanço significativo em relação à ideia inicial do projeto. No entanto, ainda são necessários aprimoramentos para que o sistema possa ser aplicado de forma mais robusta e em maior escala.

Por fim, este trabalho demonstra que é possível aplicar conceitos de engenharia no desenvolvimento de soluções simples e acessíveis para problemas reais. O sistema proposto contribui para o uso mais eficiente da água e para o monitoramento das condições de cultivo, podendo ser adaptado para diferentes tipos de aplicação. Dessa forma, o projeto apresenta relevância tanto do ponto de vista acadêmico quanto prático, com potencial de impacto positivo em pequenas produções agrícolas.

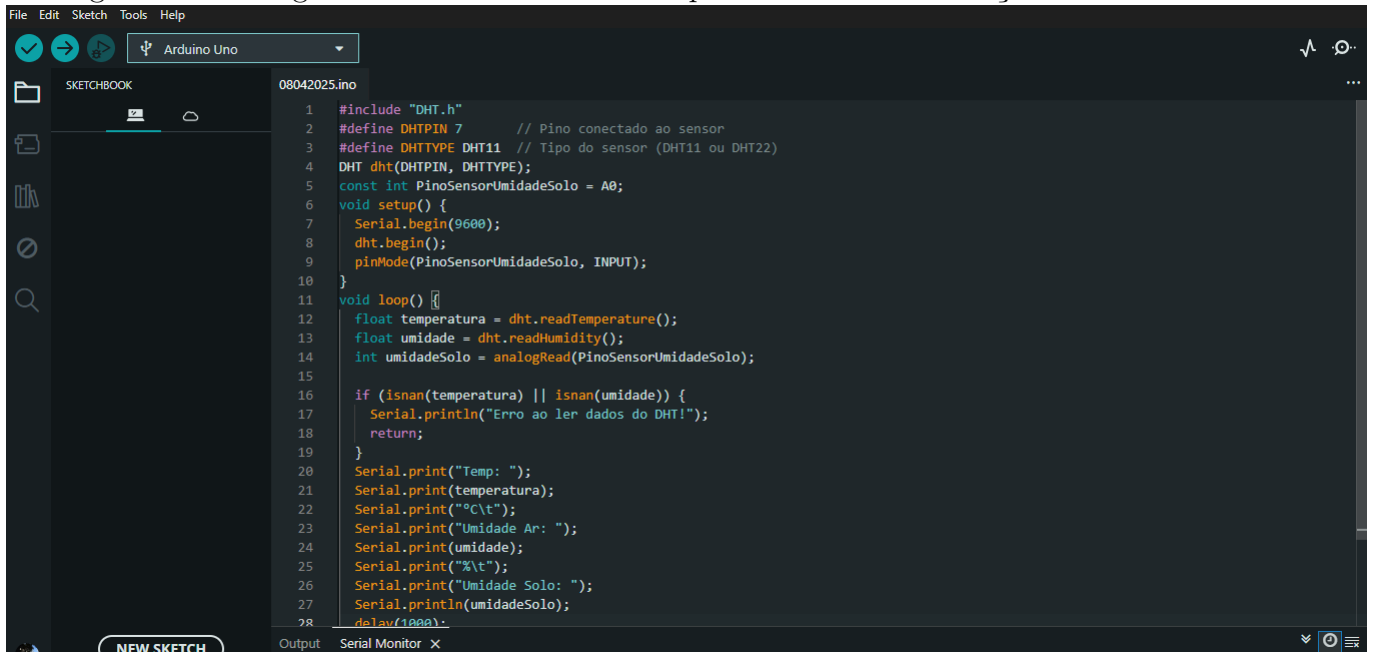
7 Referências bibliográficas

- [1] ELETROGATE. Sensores DHT11 e DHT22: guia completo. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/sensores-dht11-dht22/> . Acesso em: 18 set. 2025.
- [2] ELETROGATE. Irrigação automática com módulo sensor de umidade e bomba submersível. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/irrigacao-automatica-com-modulo-sensor-de-umidade-e-bomba-submersivel/> . Acesso em: 03 out. 2025.
- [3] AGROLINK. Quebra-pedra (*Phyllanthus* spp.). Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/problemas/quebra-pedra176.html> . Acesso em: 27 set. 2025.
- [4] NASCIMENTO, V. T. et al. Controle de qualidade de produtos à base de plantas medicinais comercializados na cidade do Recife-PE: erva-doce (*Pimpinella anisum* L.), quebra-pedra (*Phyllanthus* spp.), espinheira santa (*Maytenus ilicifolia* Mart.) e camomila (*Matricaria recutita* L.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 7, n. 3, p. 56–64, 2005.
- [5] MELO, Maria Ermecília Almeida et al. Urolitíase experimental: avaliação do efeito do chá de quebra-pedra (*Phyllanthus niruri*). *Jornal Brasileiro de Nefrologia*, p. 26–30, 1991.
- [6] ARDUINO. Arduino Uno Rev3. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> . Acesso em: 10 out. 2025.
- [7] CAPELLI, A. Automação aplicada à irrigação: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2016.
- [8] SERVIDONE, Bárbara Carneiro. A microprodução agrícola na macrometrópole paulista. Monografia (Graduação) — Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Departamento de Projeto, São Paulo, 2025.
- [9] ONU BRASIL. Organização das Nações Unidas no Brasil. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em: 20 mar. 2026.
- [10] ONU BRASIL. Organização das Nações Unidas no Brasil. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em: 20 mar. 2025.
- [11] KAMIENSKI, Carlos et al. Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8731624> . Acesso em: 15 out. 2025.
- [12] SHARMA, Abhishek et al. Internet of Things (IoT) in agriculture: Applications, challenges, and future directions. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921001234> . Acesso em: 20 mar. 2026.

[13] ANJUM, Ayesha et al. Smart farming using IoT and data analytics: A review. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266682702500010X> . Acesso em: 20 mar. 2026.

8 Apêndice A - Códigos e simulações realizadas

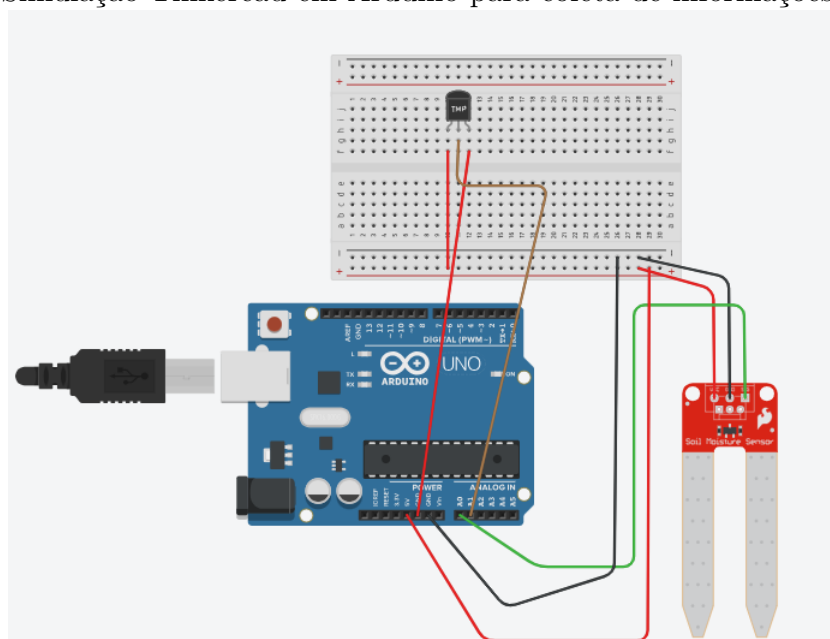
Figura 96: Código desenvolvido em Arduino para coleta de informações dos sensores.



```
1 #include "DHT.h"
2 #define DHTPIN 7 // Pino conectado ao sensor
3 #define DHTTYPE DHT11 // Tipo do sensor (DHT11 ou DHT22)
4 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
5 const int PinoSensorUmidadeSolo = A0;
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600);
8   dht.begin();
9   pinMode(PinoSensorUmidadeSolo, INPUT);
10 }
11 void loop() {
12   float temperatura = dht.readTemperature();
13   float umidade = dht.readHumidity();
14   int umidadeSolo = analogRead(PinoSensorUmidadeSolo);
15
16   if (isnan(temperatura) || isnan(umidade)) {
17     Serial.println("Erro ao ler dados do DHT!");
18     return;
19   }
20   Serial.print("Temp: ");
21   Serial.print(temperatura);
22   Serial.print("°C\t");
23   Serial.print("Umidade Ar: ");
24   Serial.print(umidade);
25   Serial.print("%\t");
26   Serial.print("Umidade Solo: ");
27   Serial.println(umidadeSolo);
28   delay(1000);
29 }
```

Fonte: Próprio Autor

Figura 97: Simulação Tinkercad em Arduino para coleta de informações dos sensores.



Fonte: Próprio Autor

Figura 98: Código em elaborado em Python para coleta de dados e calibrações.

```

jupyter C:\Users\barbo\OneDrive\Área de Trabalho\FEIS\UNESP\TCC Last Checkpoint: poucos segundos atrás (autosaved) Logout
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help Trusted Python 3
In [1]: import serial
import openpyxl
import os
from datetime import datetime
import time

def extrair_numero(texto):#Renomeia as unidades de medida no Excel
    try:
        return float(
            texto.replace("°C", "")
                .replace("%", "")
                .replace("Temp", "")
                .replace("Umidade Ar", "")
                .replace("Umidade Solo", "")
                .replace(":", "")
                .strip()
        )
    except:
        return None #Indica o diretório onde as informações serão salvas

caminho_arquivo = r"C:\Users\barbo\OneDrive\Área de Trabalho\FEIS\UNESP\TCC\Dados.xlsx"

porta_serial = serial.Serial('COM3', 9600)#Busca a porta serial no Arduino

if os.path.exists(caminho_arquivo):
    wb = openpyxl.load_workbook(caminho_arquivo)
    ws = wb.active
else:
    wb = openpyxl.Workbook()
    ws = wb.active
    ws.append([
        "time",
        "Data",
        "Hora",
        "Temperatura(°C)",
        "relative_humidity_2m (%)",
        "soil_moisture_0_to_1cm (m³/m³)"
    ])

ultima_hora_salva = None

try:
    while True:

        linha = porta_serial.readline().decode('utf-8').strip()

        dados = linha.split('\t')

        if len(dados) == 3:
            agora = datetime.now()
            hora_controle = agora.strftime("%Y-%m-%d %H")

            temperatura = extrair_numero(dados[0])#Vetores que guardarão as informações no Excel
            umidade_ar = extrair_numero(dados[1])
            leitura_adc = extrair_numero(dados[2])

            if temperatura is None or umidade_ar is None or leitura_adc is None:
                continue

            leitura_adc = int(leitura_adc)

            # Calibração
            umidade_percentual = (-0.2211 * leitura_adc) + 132.30
            umidade_percentual = max(0, min(100, umidade_percentual))
            umidade_solo = umidade_percentual / 100

            # Formatos
            time_formatado = agora.strftime("%Y-%m-%d %H:00")
            data_formatada = agora.strftime("%d/%m/%Y")
            hora_formatada = agora.strftime("%H:00:00")

            # Temperatura formatada
            if temperatura.is_integer():
                temperatura_str = str(int(temperatura))
            else:
                temperatura_str = str(round(temperatura, 1)).replace('.', ',')

            umidade_ar_str = str(int(umidade_ar))
            umidade_solo_str = str(round(umidade_solo, 2)).replace('.', ',')

            # Print no formato final
            print(f"{time_formatado}\t{data_formatada}\t{hora_formatada}\t{temperatura_str}\t{umidade_ar_str}\t{umidade_solo_str}")

            # Salvar ultima hora de coleta de dados
            if hora_controle != ultima_hora_salva:
                ws.append([
                    time_formatado,
                    data_formatada,
                    hora_formatada,
                    temperatura_str,
                    umidade_ar_str,
                    umidade_solo_str
                ])

                wb.save(caminho_arquivo)
                ultima_hora_salva = hora_controle

            time.sleep(3600)

except KeyboardInterrupt:
    porta_serial.close()
    wb.save(caminho_arquivo)
    print("Finalizado.")

```

Fonte: Próprio autor