

Estação meteorológica de baixo custo para monitoramento do microclima na lavoura de cacau

Caio Philipe Nascimento Gonçalves², Diêgo Farias de Freitas¹, Victor Silva de Jesus¹,
Álvaro Vinícius Coelho¹, Jauberth Weyll Abijaude¹

¹Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Brasil,

²CEPEDI

caio.goncalves@cepedi.org.br dffreitas.cic@uesc.br

vsjesus.cic@uesc.br, degas@uesc.br, jauberth@uesc.br

Abstract. *This article presents an automated weather station utilizing the Internet of Things with the aim of monitoring the microclimate of cocoa farms in the southernmost region of Bahia. The system was designed at UESC, and a prototype was implemented at the Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). The station uses temperature, humidity, atmospheric pressure, and air quality sensors to transmit data to an institutional repository, replacing manual data collection. This research presents the state of the art and the direct benefits for local agriculture, offering a robust and low-cost solution for the collection and analysis of meteorological data.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma estação meteorológica automatizada utilizando a Internet das Coisas com o objetivo de monitorar o micro-clima das fazendas de cacau no extremo sul da Bahia. O sistema foi projetado na UESC e implementado um protótipo na Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). A estação utiliza sensores de temperatura, umidade, pressão atmosférica e qualidade do ar para transmitir dados para um repositório institucional, substituindo a coleta humana. Esta pesquisa apresenta o estado da arte e os benefícios diretos para a agricultura local, oferecendo uma solução robusta e de baixo custo para a coleta e análise de dados meteorológicos.*

1. Introdução

A meteorologia no contexto agrícola é crucial para analisar como os fenômenos atmosféricos impactam diretamente a produção, influenciando tanto a quantidade quanto a qualidade dos produtos [Rao 2010]. No entanto, realizar a coleta manual dos dados em estações meteorológicas convencionais, torna-se limitada em termos de precisão, automação e frequência, vindo a dificultar a tomada de decisões em tempo hábil por parte dos agricultores [Parra 2023].

A Internet das Coisas (IoT) destaca-se como uma ferramenta eficaz para o monitoramento e automação de processos em diversas áreas, incluindo a meteorologia e a agricultura de precisão [Valuates Reports 2020]. Ao integrar sensores meteorológicos a plataformas conectadas à internet, é possível coletar e processar dados com precisão, fornecendo informações sobre condições climáticas como temperatura, pressão atmosférica, umidade e qualidade do ar.

Este artigo descreve o desenvolvimento e a implementação de uma estação meteorológica baseada em IoT, projetada para monitorar variáveis climáticas em fazendas de cacau no sul da Bahia. O projeto foi implementado na Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), com o intuito de fornecer dados meteorológicos para auxiliar os trabalhadores na tomada de decisões estratégicas, como irrigação, evapotranspiração, prevenção de pragas, proteção contra adversidades naturais, previsão de safra e otimização de recursos.

A proposta deste trabalho está organizada da seguinte maneira: na seção 2, é mostrado o estado da arte, abordando outros trabalhos que foram usados como referência ao longo do desenvolvimento. A seção 3 detalha o processo de desenvolvimento do sistema. A seção 4, são discutidos os resultados obtidos durante a implementação do projeto e a seção 5 apresenta as conclusões.

2. Estado da Arte

Esta seção apresenta um resumo das pesquisas encontradas, classificando-as em relação a comunicação, plataforma de gerenciamento de dados, microcontroladores e sensores/atuadores, ilustrados nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

As fazendas de cogumelos aplicam aprendizado de máquina para classificar cogumelos tóxicos nas plantações. Localizadas em Bangladesh, estas propriedades rurais realizam o monitoramento agrícola automatizado, mas desprovido de comunicação on-line. São empregados raspberry e microcontroladores ESP32, contudo não há informações detalhadas sobre as demais características citadas nas tabelas deste artigo [Rahman et al. 2022].

O monitoramento do ambiente em uma fazenda, verificando a temperatura, umidade e qualidade do ar, baseado em IoT, com foco para avicultura, está descrito em [Orakwue et al. 2022]. Como se pode observar nas tabelas comparativas ao final desta seção, este sistema emprega o microcontrolador ESP32 e os sensores DHT11, MQ135, PIR (Sensor de detecção de presença), transmitindo os dados via Wi-fi para um serviço de armazenamento em nuvem.

Para auxiliar alguns dos agricultores a monitorar o clima, a umidade e a fertilidade do solo, o artigo [Naresh and Munaswamy 2019] descreve o processo de irrigação e o controle de pragas com base na coleta de dados de sensores remotos. Para tanto, é utilizada a rede Wi-fi, conectada a um dispositivo móvel. O controle dos sensores é feito através de um microcontrolador ARM (*Advanced RISC Machine*).

Encontrou-se, durante a pesquisa, um sistema baseado em raspberry e arduino, com serviço de controle de dados na nuvem. Este estudo coleta dados de um termômetro, um higrômetro e um anemômetro instalados no em uma propriedade rural. Estes dados auxiliam agricultores na tomada de decisões com base nas condições detectadas. [Yang et al. 2021].

Um sistema agrícola inteligente baseado em IoT foi projetado para monitorar o ecossistema agrícola na Índia. O objetivo é aumentar a eficiência da agricultura indiana e incentivar práticas sustentáveis [Patil and Bag 2017]. A solução proposta neste artigo usa redes Wi-Fi com um microcontrolador ESP8266.

O *Smart Weather* são micro-estações meteorológicas baseadas em rede mesh e IoT. Ele implementa uma rede de estações meteorológicas de baixo custo e permite que

pequenos agricultores monitorem condições ambientais para otimizar o uso de recursos. A tecnologia de comunicação é baseada em redes Wi-Fi e Bluetooth, com microcontroladores arduino e ESP8266 para controlar sensores de temperatura, umidade, velocidade do vento, pressão atmosférica, quantidade de chuva e radiação solar [Carmo et al. 2023].

O sistema para capturar variáveis ambientais em laboratórios agro-industriais, com foco em segurança e eficiência energética é explicado em [Donadon et al. 2023]. Tal sistema não deixa claro a tecnologia de rede empregada, mas envia os dados para a nuvem através de um microcontrolador ESP8266.

Por fim, uma plataforma sensorial baseada em IoT, para monitoramento de temperatura, umidade relativa do ar e níveis de CO2, utilizando sensores conectados a um microcontrolador ESP8266, envia os dados pra a nuvem e exibe-os via aplicativo móvel está definida em [Rodrigues et al. 2022].

A seguir, estão as tabelas que resumem características destes artigos. A Tabela 1 apresenta as tecnologias de comunicação empregadas em estações microclimáticas. A Tabela 2 apresenta as plataformas para recepção e gerenciamento dos dados. Já na Tabela 3 é ilustrado a lista de microcontroladores empregados pelas estações microclimáticas e por último, a Tabela 4 mostra a relação de sensores utilizados pelas estações microclimáticas.

Tabela 1. Tecnologia de comunicação empregada por estações microclimáticas

Projeto	Wi-fi	Bluetooth
1. [Rahman et al. 2022]		
2. [Orakwue et al. 2022]	X	
3. [Naresh and Munaswamy 2019]	X	
4. [Yang et al. 2021]		
5. [Patil and Bag 2017]	X	
6. [Carmo et al. 2023]	X	X
7. [Donadon et al. 2023]		
8. [Rodrigues et al. 2022]		

Tabela 2. Plataforma para gerenciamento de dados

Projeto	Serviço em Nuvem	Mobile
1. [Rahman et al. 2022]		
2. [Orakwue et al. 2022]	X	
3. [Naresh and Munaswamy 2019]		X
4. [Yang et al. 2021]	X	
5. [Patil and Bag 2017]		
6. [Carmo et al. 2023]		
7. [Donadon et al. 2023]	X	
8. [Rodrigues et al. 2022]	X	X

Tabela 3. Unidade(s) de processamento/-memória

Projeto	Raspberry	ESP32	ESP8266	ARM	Arduino
1. [Rahman et al. 2022]	X	X			
2. [Orakwue et al. 2022]		X			
3. [Naresh and Munaswamy 2019]				X	
4. [Yang et al. 2021]	X				X
5. [Patil and Bag 2017]			X		X
6. [Carmo et al. 2023]		X			
7. [Donadon et al. 2023]			X		
8. [Rodrigues et al. 2022]		X			

Tabela 4. Sensores

Projeto	Termô.	Higrô.	Anemô.	Barô.	Pluvi.	Piranô.
1. [Rahman et al. 2022]						
2. [Orakwue et al. 2022]	X	X				
3. [Naresh and Munaswamy 2019]	X	X				
4. [Yang et al. 2021]	X	X	X			
5. [Patil and Bag 2017]	X	X				
6. [Carmo et al. 2023]	X	X	X	X	X	
7. [Donadon et al. 2023]	X	X				X
8. [Rodrigues et al. 2022]	X	X	X			

3. Desenvolvimento

O desenvolvimento de uma estação meteorológica voltada para o micro-clima, baseada em Internet das Coisas (IoT), exige um casamento entre software, hardware e infraestrutura de rede. Esta união, apesar de muitos esforços de pesquisa já desenvolvidos pela comunidade científica, não é trivial [Yang et al. 2021]. A solução executada foi o emprego de sensores conectados a uma placa ESP8266, com comunicação Wi-fi e envio de dados para um repositório institucional. Foram planejados os sensores de temperatura umidade, pressão atmosférica, qualidade do ar, presença de chuva, quantidade de precipitação, direção e velocidade do vento. A seguir, descrevemos as etapas de desenvolvimento, abordando a configuração do ambiente, a infraestrutura de rede, o desenvolvimento do servidor e o aplicativo móvel.

É importante destacar que estas estações climáticas de baixo custo fazem parte de projetos que envolvem a UESC/CEPLAC/FABESP. Elas são fundamentais para monitorar o micro-clima das fazendas e auxiliar o produtor em três pontos importantes. O primeiro deles é prever possíveis pragas que em determinadas condições ambientais podem se desenvolver e comprometer a produção [Macêdo et al. 2021]. O segundo é fornecer dados importantes para o cálculo da evapotranspiração [Nametala et al. 2021]. E o terceiro é enviar dados para um projeto de precisão de safra, em andamento através de um convênio de cooperação científica entre a CEPLAC e a UESC. O presente artigo, portanto, é consequência de tais projetos e resultado de um trabalho de conclusão de curso em ciência da computação, defendido e aprovado pelo primeiro autor.

O ambiente onde estas estações serão instaladas, apesar de ser predominantemente rural, possuem condições favoráveis de funcionamento. O projeto prevê a instalação de duas estações por fazenda, sendo uma na sede e outra mais distante. Isto se justifica, pois

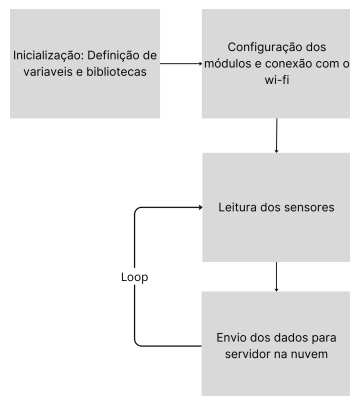


Figura 1. Diagrama de fluxo do algoritmo implementado para a leitura de dados da estação. Autoria própria, 2023.

na sede há uma área mais aberta, sem a presença de mata ou vegetação densa. A segunda estação será instalada dentro da roça propriamente dita, em local onde o plantio do cacau está de fato. As fazendas eleitas para receberem as estações de microclima estão nos municípios de Itabuna, Ilhéus, Itajuípe, Una, Uruçuca, Ipiaú e Gandu. Em todas elas há energia elétrica disponível, acesso a internet e sinal de Wi-Fi.

A primeira estação, já em funcionamento, possui os sensores DHT11 para medir temperatura (faixa de 0 a 50°C) e umidade relativa do ar (20 a 99,9%); BMP180 para medir pressão atmosférica (30.000 a 110.000 Pa); Na-135 que captura a qualidade do ar, capaz de detectar gases nocivos em uma faixa de 100 a 10.000 ppm; e um módulo de sensor de presença de chuva.

Esses sensores foram integrados à placa ESP8266, responsável pela comunicação via Wi-Fi com o servidor na nuvem. A informação trocada entre os sensores e a placa foi feita utilizando o protocolo I²C (Inter-Integrated Circuit), que permite uma conexão eficiente entre os dispositivos conforme ilustrado na Figura 1.

O processo de comunicação entre o servidor na nuvem e a estação meteorológica foi implementado usando o padrão arquitetural REST, com banco de dados PostgreSQL. Construiu-se o servidor com uma arquitetura em camadas, composta por uma Camada de controle responsável por lidar com as requisições enviadas pela estação meteorológica e pelos usuários através do aplicativo móvel; uma camada de serviço responsável por realizar as operações de lógica de negócios, como o processamento dos dados coletados pelos sensores; e uma camada de persistência encarregada de interagir com o PostgreSQL, garantindo que as informações fossem armazenadas corretamente.

O monitoramento dos dados meteorológicos é feito através de um aplicativo móvel desenvolvido em React Native com a linguagem TypeScript. A decisão de focar no sistema Android foi baseada na facilidade de distribuição dos arquivos APK diretamente aos usuários, sem a necessidade de publicar o aplicativo na loja oficial. Assim, foi estipulado os seguintes requisitos funcionais para a implementação do aplicativo Android: Visualização de informações das estações - O aplicativo deve permitir aos usuários visualizar informações detalhadas sobre as estações meteorológicas conectadas ao sistema e visualização de dados meteorológicos.

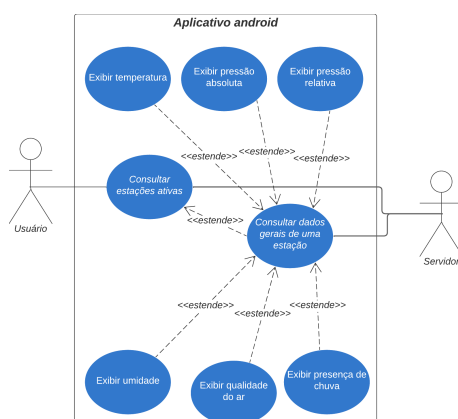


Figura 2. Diagrama de caso de uso do sistema android.



Figura 3. (a) Termômetros de mercúrio (b) barômetro analógico e (c) torre de 5 metros para medir velocidade e direção do vento.

A compreensão do sistema proposto é facilitada pela análise conjunta dos diagramas de caso de uso e de sequência, representados na Figura 2.

4. Avaliação

As estações de acompanhamento climático, de modo geral, ainda são equipadas com dispositivos manuais e necessitam da interferência humana no sentido de preparar os equipamentos, anotar as medições e realizar ajustes diários.

Em visita à estação climática da CEPLAC, pode-se observar a figura 3(a) com disposição de termômetros de mercúrio para medição de temperatura; a figura 3(b) com um barômetro analógico e a figura 3(c) com uma torre para medir a velocidade e direção do vento. A figura 4 ilustra um equipamento para medir a quantidade de chuva diária.

Todos estes equipamentos necessitam de inspeção 3 vezes ao dia, todos os dias da semana, segundo informações coletadas pelo analista responsável pela manutenção da estação. Ele visita todos os equipamentos e anota dos dados em um formulário ilustrado na Figura 5, diariamente às 6:00h, 11:00h e 16:00h. Este procedimento requer tempo, pessoa dedicada e está sujeito a erros na fase de anotação dos dados e de transcrição deles para o formato eletrônico em planilha.

Todos estes equipamentos foram substituídos e instalados em uma caixa de proteção ilustrado na Figura 6. O único equipamento que no momento não estava ainda no local era o pluviômetro automático. Justifica isto devido ao fato de a haste onde o mesmo seria disposto não estava disponível.



Figura 4. Tanque para medição de quantidade de chuva diária.



Figura 5. Formulário empregado para anotação de dados coletados.



Figura 6. Instalações da estação automatizada IoT.

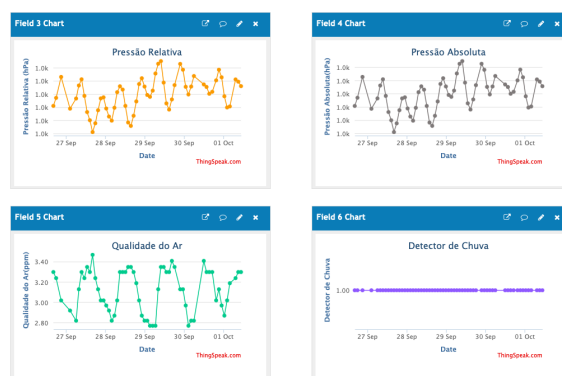


Figura 7. Gráficos de pressão relativa e absoluta, qualidade do ar e presença de chuva.

Esta nova estação apresenta vantagens muito claras em relação aos equipamentos anteriores. A primeira delas é a economia de espaço. O que antes ocupava uma área de 20 metros quadrados, agora resume-se a uma pequena caixa de madeira. Há de se pontuar que o micro-clima dentro da roça de cacau não poderia ser feito com a estrutura anterior, pois além do espaço, necessitava-se de uma área aberta, o que implica na remoção de áreas produtivas e na própria medição dos dados climáticos, que são diferentes em área coberta por vegetação.

Em segundo lugar, a presença humana não será mais necessária. Manter uma pessoa disponível 7 dias da semana em três horários é custoso financeiramente e deixa o processo exposto a erros, quer sejam intencionais ou não. Nos erros intencionais, por exemplo, em um final de semana, as medidas podem ser forçadas, sem sequer acontecer a visita. Os erros não intencionais podem ser aqueles que ocorrem na escrita errada do dado ou na digitação deles em uma planilha. Todos estes problemas são eliminados.

Por fim, o tempo de coleta de dados pode ser ajustado conforme a necessidade sem muitas consequências. No caso desta estação, configurou-se a captura para cada 90 minutos. A figura 7 ilustra gráficos de pressão atmosférica absoluta e relativa, qualidade do ar e presença de chuva.

O aplicativo móvel foi testado pelos usuários da CEPLAC para verificar a usabilidade e eficácia na visualização dos dados meteorológicos. Durante os testes, os indivíduos relataram que a interface do aplicativo é intuitiva e de fácil navegação, permitindo o acesso rápido às informações das estações meteorológicas cadastradas. Os gráficos gerados foram bem recebidos, pois fornecem uma visualização clara e objetiva das variáveis monitoradas. Uma tela de entrada é exibida na figura 8

4.1. Desafios e Limitações

Apesar dos resultados positivos obtidos durante a avaliação, o projeto enfrentou alguns desafios. A segurança na comunicação entre a estação meteorológica e o servidor é um dos principais. Como o sistema foi implementado com foco em prototipagem, as medidas de segurança, como autenticação e criptografia, não foram priorizadas. Isso resultou na exposição da aplicação, permitindo que qualquer cliente com o endereço IP correto pudesse acessar os dados. Essa é uma área crítica que será abordada em versões futuras do sistema, principalmente para garantir a segurança dos materiais coletados e transmitidos.



Figura 8. Tela inicial com listagem das estações cadastradas no sistema.

Outra limitação observada foi a capacidade dos sensores utilizados. Embora os sensores escolhidos tenham sido suficientes para as necessidades iniciais do projeto, artifícios de maior precisão e durabilidade poderiam melhorar a qualidade dos elementos coletados. Além disso, o alcance do Wi-Fi, limitado pela placa ESP8266, pode vir a se tornar um problema em áreas agrícolas mais extensas, onde a cobertura de internet é precária. Soluções como a implementação de uma rede LoRa ou 5G poderiam ser exploradas para ampliar o alcance da comunicação.

5. Conclusão

Portanto, a estação meteorológica automatizada baseada em IoT provou ser uma solução eficiente para o monitoramento climático em tempo real, haja visto o nível de suporte e detalhamento para a agricultura de precisão que foi dado. A utilização de tecnologias de baixo custo, como o microcontrolador ESP8266 e os sensores DHT11 e BMP180, viabilizou a coleta contínua de dados atmosféricos, que são transmitidos para a nuvem e acessados por meio de um aplicativo móvel, facilitando a tomada de decisões informadas pelos agricultores. Cada uma delas custou aproximadamente quinhentos reais.

Apesar das limitações, como a precisão dos sensores e dificuldades de conectividade, o sistema apresentou um bom desempenho e mostrou-se operante mesmo em ambientes rurais. O desenvolvimento do aplicativo móvel melhorou o acesso aos elementos em tempo real, oferecendo uma interface intuitiva para os usuários, embora ainda haja espaço para aprimoramentos, como a inclusão de alertas personalizados e uma visualização mais detalhada dos dados históricos.

Estão previstas as instalações do pluviômetro e de uma biruta para medir a velocidade e direção do vento. Também há a previsão de se instalar um sensor crepuscular para registrar a hora do nascente e poente, além de um sensor para medir a radiação ultravioleta. Com estes dados será possível calcular a evapotranspiração, medida fundamental para irrigar a cultura com precisão.

Esse trabalho representa uma contribuição importante para a agricultura de precisão no sul da Bahia, ao automatizar a coleta de dados meteorológicos, aumentando sua frequência e precisão. Isso beneficia diretamente os agricultores locais, além de abrir oportunidades para futuras expansões e melhorias no sistema.

Referências

- Carmo, J. V. d., Barreto, L. F. F., Citolino, M. V., Carvalho, V. S. R. d., and Cabrini, F. H. (2023). Smart weather: Micro estações meteorológicas baseadas em rede mesh e iot. *FaSCi-Tech*, 6.
- Donadon, B., Gomes, M. d. C., Granado, G. H., Santos, A. A. d., Cardoso, J. M. d. M., Gomes, G., and Dias, E. O. (2023). Monitoramento de luminosidade, temperatura e gás, aplicação baseada em iot. *Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas - SP, Brasil and Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, Brasil*.
- Macêdo, M., Rosa, E. S., Luz, E., and Luis, J. (2021). Avaliação de clones de cacaueteiro quanto a produtividade e incidência de vassoura de bruxa e podridão parda. *Agrotrópica*, 33(1):5–16.
- Nametala, M., Júnior, C., Tormen, G., and Oliveira, B. (2021). Estação meteorológica de baixo custo para cálculo, armazenamento e exibição da evapotranspiração de referência. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)*, 6(2).
- Naresh, M. and Munaswamy, P. (2019). Smart agriculture system using iot technology. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 7(5):98.
- Orakwue, S. I., Al-Khafaji, H. M. R., and Chabuk, M. Z. (2022). Iot based smart monitoring system for efficient poultry farming. *Webology*, 19(1):4105.
- Parra, A. C. (2023). Saiba o que é uma estação meteorológica e quais os seus benefícios na agricultura. *MF Magazine*. Postado em 16 de maio de 2023.
- Patil, G. L. and Bag, R. V. (2017). Smart agriculture system based on iot and its social impact. In *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, volume 176, page 1. Sandip Institute of Technology and Research Centre, University of Pune, Nashik, Maharashtra.
- Rahman, H., Faruq, M. O., Hai, T. B. A., Rahman, W., Hossain, M. M., Hasan, M., Islam, S., Moinuddin, M., Islam, M. T., and Azad, M. M. (2022). Iot enabled mushroom farm automation with machine learning to classify toxic mushrooms in bangladesh. *Journal of agriculture and food research*, 7:100267.
- Rao, G. P. (2010). *Agricultural Meteorology*. PHI.
- Rodrigues, C. C., Silva, K. P. d., Pantoja, W. d. B., Beirão, A. T. M., Almeida, J. F. S. d., Campos, P. S. d. S., Morais, E. C., and Chase, O. A. (2022). Plataforma sensorial iot para monitoramento de temperatura, umidade relativa do ar e co2 in situ. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 13(2).
- Valuates Reports (2020). Agriculture IoT market size is projected to reach USD 48,714 million by 2025 - Valuates reports. *Valuates Reports*.
- Yang, J., Sharma, A., and Kumar, R. (2021). Iot-based framework for smart agriculture. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 12(2). Pages: 14.