

Irrigação Facilitada: Sistema IoT de Baixo Custo com ESP32 e C++/Arduino IDE para Agricultura Familiar

Pedro Sergio Gomes Quinderé¹, Aurélio Comunello Carneiro¹, Pedro Henrique Pires Viera¹, Eduardo Lucena Alves¹, Ricardo Benneth Canedo de Araújo Leite¹, Alisson Rodrigues Alves¹, Ujeverson Tavares Sampaio¹, Willgnner Ferreira Santos¹

¹Faculdade de Tecnologia Senai Goiás - R. 227-A, 95 - Goiânia - GO, CEP: 74610-155

Resumo. A Agricultura 4.0 utiliza IoT para viabilizar o manejo preciso e automatizado de recursos, reduzindo desperdícios e aumentando a produção. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver modelo computacional de baixo custo para controle de umidade, temperatura e composição mineral do solo em plantações de pequeno porte, utilizando programação C++/Arduino IDE sobre microcontroladores ESP32. Em testes preliminares, o sistema coletou dados do solo a partir de sensores específicos e também gerou outros sintéticos estocásticos, armazenando todos em banco de dados não relacional hospedado em nuvem, onde puderam ser manipulados por IA generativa para fornecer dashboards ao usuário, via chatbot. O sucesso obtido no treinamento foi superior a 95%, mas são necessários mais testes de validação reais para comprovar a sua robustez.

Palavras-chave: Agricultura 4.0. Banco de Dados NoSQL. Big Data. Business Intelligence. Data Science. ESP32. Internet of Things (IoT). C++/Arduino IDE.

1. Introdução

Na última década, a integração de tecnologias digitais avançadas na produção agrícola, com o uso de robótica, Internet das Coisas (IoT), Big Data, Business Intelligence (BI) e Inteligência Artificial fez surgir a Agricultura 4.0 [Araújo, Araújo Júnior & Santana 2024], também conhecida como agricultura digital ou agricultura de precisão, representada pela conectividade entre pessoas, máquinas e processos para a gestão de recursos no campo [Lisbinski et al. 2020]. Nesse contexto, emprego de Big Data e Data Science e BI permite limpar e classificar grandes massas de dados para gerar *insights* relevantes baseados no reconhecimento de padrões [Massruhá et al. 2020]. Mas, dependendo dos equipamentos empregados neste tipo de automação, o custo pode ser extremamente dispendioso [Almeida 2002].

Assim, para proporcionar alternativa mais viável e econômica, de modo a permitir o acesso a esse tipo de tecnologia aos microempresários do ramo, como aqueles dedicados a agricultura familiar, desenvolveu-se ferramenta automatizada de baixo custo para o controle da qualidade do solo em plantações de pequeno porte. Denominado ***Crescente Fértil***, o sistema destina-se à captação e processamento de dados referentes à umidade, temperatura e adubação do solo em pequenas e médias propriedades, para fornecer informações relevantes sobre a dosimetria adequada e tempestiva da aspersão de insumos na horta, possibilitando ao usuário decidir o melhor momento para irrigar e adubar o solo. Neste sentido, a aplicação oferece *dashboards* interativos, disponibilizados através de *chatbot*, para promover a gestão mais eficiente dos recursos.

Este estudo caracteriza-se pelo pioneirismo ao integrar, simultaneamente, tecnologias consolidadas de IoT, Big Data, BI, bancos de dados NoSQL e IA a microprocessadores ESP32, sensores e *chatbot* do aplicativo de mensagens Telegram em sistema computacional de baixo custo voltado à agricultura de pequeno porte. Sua originalidade reside na oferta de produto robusto, acessível aos pequenos produtores, com processamento em nuvem, sem grandes expensas e perfeitamente escalável. Nesse sentido, o trabalho virtualmente propõe a pequenos produtores rurais o acesso à Agricultura 4.0, apresentando solução testada e replicável para o monitoramento das condições do solo, validada através de dados reais e sintéticos estocásticos.

2. Trabalhos Relacionados

Recentemente, [Lima & Primo 2023] pesquisaram o progresso vivenciado pela agricultura com o uso de IoT. Ao mesmo tempo, [Santana & Silva 2023] demonstraram a eficácia do emprego de placas controladoras ESP32 na automação de sistemas de irrigação. Posteriormente, [Araújo, Araújo Júnior & Santana 2024] elaboraram estudo sobre as diversas tecnologias empregadas na agricultura 4.0, enquanto [Assis, Piantoni & Azevedo 2024] abordaram como o emprego de automação na agricultura inteligente pode promover eficiência e sustentabilidade. Por sua vez, os trabalhos de [Carvalho & Guimarães 2024] focaram em estudo analítico sobre o uso de sensores de IoT e Big Data para aprimorar a produção de culturas de precisão, ao passo que [Trova et al. 2024] avaliaram o aprimoramento da gestão hídrica através de monitoramento em tempo real, utilizando IoT, e [Vasconcelos 2024] propôs projeto de sistema de monitoramento e controle para irrigação baseado no microcontrolador ESP32 e IoT.

[Santos & Pereira 2004] e [Chieppe Júnior et al. 2008] promoveram pesquisas experimentais sobre o uso de sensores de tensão na medição de condutividade elétrica do solo a fim de controlar o manejo de irrigação. Por outro lado, [Menezes et al. 2013] utilizaram sondas de nêutrons para investigar o comportamento do conteúdo da água no solo sob cobertura natural e solo descoberto, enquanto [Santos, Corado & Araújo 2019] propuseram estudo exploratório sobre o emprego da internet das coisas para desenvolvimento de ferramenta de apoio no monitoramento sistemático da umidade do solo, utilizando microcontroladores ESP32, sensores e atuadores.

Em 2019, [Almeida et al. 2019] empreenderam estudo sobre o uso de Business Intelligence na gestão de recursos hídricos, ao passo que [Ferreira, Nascimento & Santos 2019] realizaram revisão sistemática sobre o uso da Internet das Coisas na agricultura 4.0. Enquanto isso, [Novaes et al. 2019] apresentaram proposta de software para a gestão de propriedades rurais e [Robaima & Camargo 2019] pesquisaram o uso de bancos de dados NoSQL no georreferenciamento empregado na agropecuária de precisão, evidenciando a importância do BI na administração dos meios de produção.

No ano seguinte, [Lisbinski et al. 2020] estudaram as perspectivas e desafios da agricultura 4.0 para o setor agrícola, enquanto [Massruhá et al. 2020] promoveram estudo sobre a transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente, e [Tamachiro et al. 2020] fizeram revisão sistemática da literatura para evidenciar o alcance do uso das aplicações de Big Data na agricultura.

Finalizando, [Costa 2025] elaborou estudo revisional sobre o emprego do Power BI na gestão de desempenho para o agronegócio, enquanto [Damasceno 2025] apresentou estudo comparativo de banco de dados NoSQL para gerenciamento de séries espaço-temporais.

O presente trabalho inova ao propor solução computacional escalável de baixo custo para produtores agrícolas, aplicada ao controle da umidade, temperatura e composição do solo em plantações de pequeno porte. O sistema associa o uso de linguagem C++/Arduino IDE e controladores ESP32 com dados salvos em nuvem, além de promover interação com o usuário através *chatbot* do aplicativo de mensagens instantâneas Telegram. Para isso, diferentemente dos trabalhos relacionados, integra o emprego simultâneo de IoT, Big Data, Data Science e banco de dados NoSQL.

3. Metodologia

O projeto adota arquitetura de IoT (Internet das Coisas) baseada em quatro camadas principais: percepção, rede, processamento e armazenamento, e aplicação.

A camada de percepção (Edge) é composta pelo microcontrolador ESP32 e sensores físicos (umidade do solo e temperatura), responsáveis pela coleta de dados brutos no ambiente. Já a camada de rede (Transporte) utiliza o protocolo Wi-Fi (IEEE 802.11) para conectividade. Seu objetivo é expor a API local (localhost) à internet pública de forma segura, utilizando o serviço de tunelamento Ngrok e estabelecendo conexão HTTPS criptografada. A camada de processamento e armazenamento (Cloud/Server) compõe-se de API desenvolvida em FastAPI (Python), a qual atua como gateway, recebendo os dados, processando-os (tratamento de nulos e timestamps) e persistindo-os em banco de dados NoSQL orientado a documentos (MongoDB Atlas). Finalmente, na camada de aplicação (Visualização) os dados são consumidos por *dashboard* interativo, desenvolvido em Streamlit, e por *chatbot* do aplicativo de mensagens Telegram, permitindo monitoramento dos dados em tempo real.

Após o seu armazenamento, os dados são tratados por IA generativa e retornados ao cliente na forma de *dashboards* relacionados ao tópico consultado. A Figura 1 descreve esquematicamente o modelo.

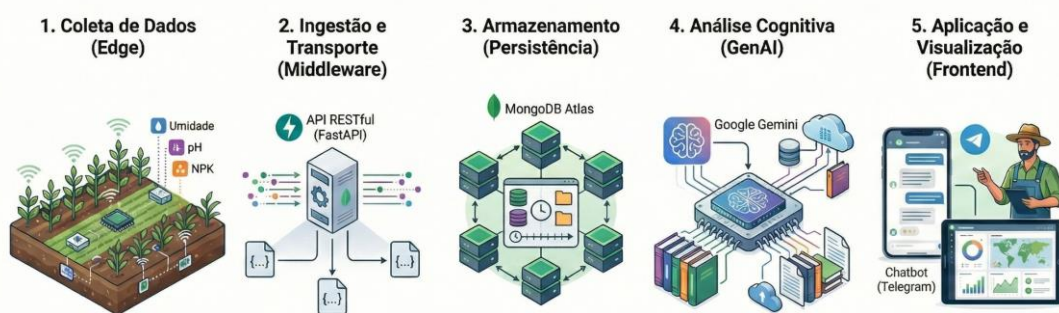


Figura 1: Representação esquemática da arquitetura do sistema, contendo os sensores envolvidos na captação dos dados; microcontrolador ESP32; FastAPI; banco de dados; IA generativa; e, *chatbot* Telegram.

A escolha do hardware priorizou o custo-benefício e a eficiência energética para aplicações em agricultura de precisão. Para isso, foram utilizados:

- Microcontrolador ESP32 DevKit V1, escolhido por possuir Wi-Fi e Bluetooth integrados, processador dual-core e conversores Analógico-Digitais (ADC) de alta resolução (12-bit);

- Sensor de temperatura DS18B20, por ser digital e blindado (à prova d'água), utilizando o protocolo OneWire. Permite leituras precisas (-55°C a +125°C) com apenas um pino de dados e requer apenas um resistor de pull-up de 4.7kΩ para controlar e estabilizar a tensão fornecida pelo ESP32;

- Sensor de umidade do solo capacitivo v1.2. Diferente de modelos resistivos, este sensor mede a constante dielétrica do solo. Sua escolha se deu em função da maior durabilidade e resistência à corrosão, já que os eletrodos não ficam diretamente expostos à eletrólise.

Assim, o hardware proposto constitui-se de microcontrolador ESP32 conectado fisicamente, via cabo, a sensores dos modelos FC-28 e DS18B20, suportados e alimentados através de placa protoboard. Para evitar sobrecarga, foram empregados resistores no controle da tensão que alimenta os sensores. O FC-28 mede a umidade do solo, enquanto o DS18B20 é utilizado na medição da temperatura do solo. A ativação de ambos os sensores é controlada pelo microcontrolador ESP32. Os dados coletados pelos sensores são transmitidos fisicamente à placa controladora, que então os transmite ao banco de dados MongoDB, via FastAPI, utilizando Wi-Fi. Os dados armazenados no banco podem ser consultados pelo usuário utilizando *chatbot* interativo implementado no aplicativo de mensagens Telegram. Após serem tratados pela Gemini 2.5, os dados são apresentados ao cliente, em seu celular, na forma de *dashboards* específicos. A Figura 2 apresenta fotografia do equipamento montado.

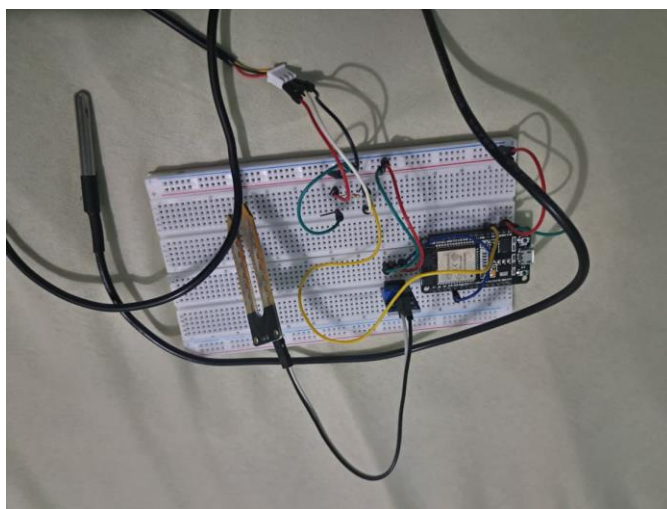


Figura 2: Equipamento composto de placa protoboard, microcontrolador ESP32, sensor DS18B20 e sensor capacitivo v1.2 .

O desenvolvimento de software foi dividido em firmware (embarcado), backend e programação do banco de dados. O firmware foi programado em C++ / Arduino IDE. Assim, o código inserido no ESP32 utiliza bibliotecas específicas (WiFiClientSecure, ArduinoJson, DallasTemperature) para leitura de sensores e comunicação HTTP segura. Optou-se por implementar lógica de reconexão automática e tratamento de timeouts para garantir robustez em redes instáveis, como 4G/Hotspots.

Por sua vez, o backend foi programado em Python, utilizando-se o framework FastAPI, conhecido por sua alta performance (assíncrono) e validação automática de dados via Pydantic, enquanto o banco de dados empregado foi o MongoDB, devido a sua

flexibilidade de schema (JSON), ideal para IoT, onde a estrutura dos dados pode mudar sem quebrar o sistema legado.

A concepção do software foi trabalhada em parceria com microempresa de horticultura de Goiânia, onde foram instalados sensores em canteiros de plantação de alface para monitoramento ambiental. Os dados coletados foram transmitidos para banco de dados MongoDB, mas no sentido de otimizar o uso da camada gratuita do referido banco, definiu-se como janela de amostragem o período de 10 minutos. O sistema buscou analisar percentual de umidade do solo, considerada como a quantidade volumétrica de água presente no solo. Dependendo do valor encontrado, o mesmo serviu como parâmetro disparador para a irrigação. O segundo parâmetro pesquisado foi a temperatura do solo, isto é, o estado térmico da camada onde as raízes se desenvolvem.

A comunicação segue o modelo cliente-servidor via HTTP/HTTPS (REST), dividindo-se em quatro momentos (eventos) diferentes:

1. Leitura: O ESP32 acorda, lê a tensão analógica do sensor de umidade (convertendo para % via mapeamento calibrado de 0-4095) e solicita a temperatura digital via barramento OneWire.

2. Empacotamento: Os dados são serializados em formato JSON (application/json), contendo apenas o ID do dispositivo e os valores reais, otimizando a largura de banda.

3. Transmissão: É realizada uma requisição POST para o endpoint da API exposta pelo Ngrok. O cabeçalho ngrok-skip-browser-warning foi implementado para contornar telas de verificação de segurança do túnel.

4. Enriquecimento Temporal: Como o ESP32 não possui RTC (Relógio de Tempo Real) nativo com bateria, o timestamp (Data, Hora, Dia, Mês) é gerado e anexado pelo servidor no momento exato do recebimento, garantindo precisão temporal nos registros.

Para validar o *dashboard* e o *chatbot* antes da aquisição de sensores complexos, como NPK e pH, foi desenvolvido módulo para geração dados sintéticos. Em sua metodologia utilizou-se algoritmos de "caminhada aleatória" (*Random Walk*) com restrições (*clamping*). Seu funcionamento consistiu em gerar variações suaves baseadas no último valor registrado, simulando a flutuação natural de parâmetros químicos do solo, em vez de gerar números totalmente aleatórios que causariam gráficos caóticos. O objetivo do seu emprego foi permitir a execução de testes de carga no banco de dados e a validação da interface visual (*dashboard*) em cenários de "seca" ou "excesso de nutrientes" simulados.

Devido ao atraso na importação do sensor RS-485 (*Halisense*), que faria a leitura de temperatura, umidade, condutividade, NPK e pH, a geração de dados sintéticos estocásticos acabou por complementar a população do banco. Foram simuladas métricas que seriam obtidas pelo referido equipamento para validar o funcionamento do *dashboard* e ilustrar a visualização completa dos parâmetros agrônômicos planejados. Assim, programou-se o microprocessador ESP32 para simular a leitura dos referidos sensores no sentido de estressar a capacidade analítica da IA. Os dados armazenados foram utilizados para alimentar *dashboards* no *Streamlit*, permitindo a visualização de séries temporais para identificar tendências de longo prazo.

Especificamente na API Backend, foi utilizada a biblioteca Pydantic para garantir a integridade dos dados, antes mesmo destes entrarem no banco, forçando o sistema a inserir apenas dados corretos. O backend foi desenvolvido em FastAPI (Python) seguindo

arquitetura de microsserviços, para separar claramente a camada de Coleta (rota de sensores) da camada de Inteligência (rota do chatbot). Também foi desenvolvido algoritmo de simulação estocástica com tendências temporais, considerando que normalmente a temperatura sobe de dia e desce à noite, para validar a visualização gráfica no *dashboard*.

A interação do usuário com a IA prevê que o mesmo possa ter acesso aos *dashboards* de dados armazenados na nuvem e ao acionamento de atuadores através de *chatbot* do aplicativo de mensagens Telegram. Para isso, foi desenvolvida rotina em que o usuário solicita os dados desejados; API Telegram faz requisição ao *Chatbot Service*, que consulta os dados mais recentes relativos ao contexto da informação solicitada, para situar a IA em relação ao que foi requerido; os dados solicitados são retornados ao *Chatbot Service*, para que a IA Gemini devolva ao usuário a resposta gerada, em forma de texto; por fim, a API Telegram entrega a mensagem de resposta. Para isso, utilizou-se modelo Gemini 1.5 Flash via API para interpretar os dados JSON do banco e gerar respostas em linguagem natural, atuando como um agrônomo virtual. No caso de acionamento de atuadores, a resposta é o acionamento do dispositivo específico para a produção do efeito desejado. Esta relação encontra-se esquematicamente ilustrada na Figura 3:

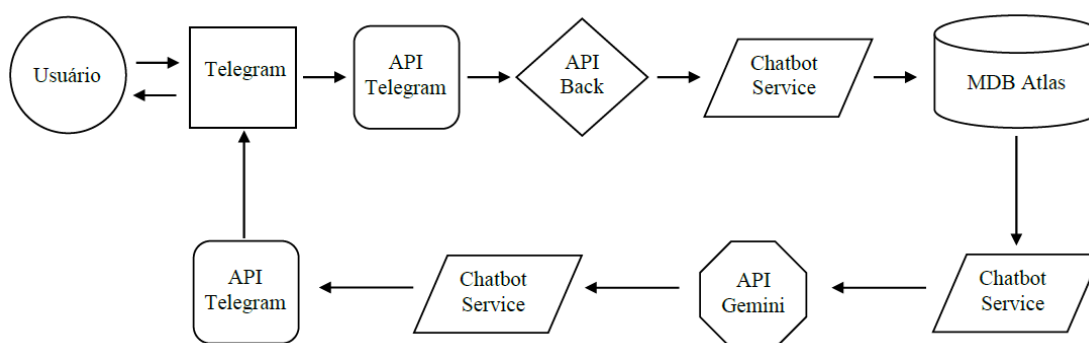


Figura 3: Representação esquemática do fluxo de interação do usuário com a IA através usuário de *chatbot* do aplicativo de mensagens Telegram. O usuário faz uma pergunta, a qual é processada e depois respondida pela IA Gemini 2.5.

Para implementação do componente de Inteligência Artificial, optou-se pela utilização do modelo Gemini 2.5 Flash (Google), operando na camada de uso gratuito (Free Tier). A escolha deste modelo visou equilibrar a latência de resposta com a eficiência de custos durante a fase de desenvolvimento e validação. As restrições (Rate Limits) impostas pela API e o perfil de consumo real observado durante os testes foram da ordem de até 250 requisições/dia, com o máximo de 10 requisições/minuto e 250.000 tokens/minuto (entrada e saída). O monitoramento do uso da API revelou comportamento estável e dentro das margens de segurança operacional. A média de consumo por interação girou em torno de 800,99 tokens, com frequência de 4 requisições por minuto nos momentos de atividade e pico máximo de utilização registrado de 22 requisições ao dia. A Tabela 1 apresenta exemplo do resultado obtido em quatro dias de requisições enviadas.

Tabela 1. Número de tokens utilizados por requisições diárias; erros observados; e, média de tokens utilizados em todas as requisições.

Data	Tokens	Requisições	Erros de API
26/11/2025	12200	20	2
27/11/2025	14820	22	0
28/11/2025	16220	22	0
29/11/2025	13630	7	0
Totais	56870	71	2
Média de tokens	800,99		

A análise dos dados demonstra que a arquitetura atual é viável para operação na camada gratuita. O sistema opera com uma folga operacional superior a 90% em relação ao limite diário e 60% em relação ao limite de velocidade por minuto. Isso garante escalabilidade para testes mais intensos, sem risco imediato de interrupção por Throttling (limitação de taxa) ou necessidade de migração para planos pagos, sugerindo que o usuário médio poderá trabalhar nesta faixa de isenção com tranquilidade, sem se preocupar com gastos extras.

O *chatbot* foi programado para responder apenas a perguntas pertinentes ao domínio pesquisado no trabalho. Para isso, foram inseridas diretrizes que impediam a API de responder a perguntas fora de contexto. Assim, o usuário poderia apenas selecionar perguntas pré-definidas relativas a diagnóstico de como está a horta; telemetria de dados em tempo real; e, visualização de gráficos informativos. Para outras dúvidas técnicas, o *chatbot* sugeria ao usuário consultar bases de dados relativas aos referidos tópicos na própria Gemini.

4. Resultados

Problemas de logística impediram a chegada tempestiva de sensores para a maioria dos parâmetros propostos para o estudo, inviabilizando o levantamento completo dos dados, sendo possível avaliar dados reais somente de temperatura e umidade. As demais medidas foram simuladas através de dados sintéticos estocásticos no sentido de validar o comportamento do microcontrolador e da IA em relação ao processamento dos dados para a geração de *dashboards*. Em 150 sessões de treinamento e avaliação com dados reais e sintéticos, o sistema apresentou apenas 5 falhas, relacionadas, majoritariamente à instabilidade de rede e timeouts da API do Telegram.

A comparação entre métodos tradicionais de análise de solo e a solução proposta identificou os resultados observados na Tabela 2:

Tabela 2. Médias comparativas de desempenho entre análise laboratorial tradicional, sensores comuns (IoT simples) e modelo proposto (Irrigação Facilitada).

Critério	Análise Laboratorial (Tradicional)	Sensores comuns (IoT simples)	Modelo proposto (Irrigação Facilitada)
Tempo de Resposta	dias ou semanas	imediatos (numérico)	imediatos (com diagnóstico)
Custo por Análise	alto (recorrente)	médio (hardware)	baixo (hardware + nuvem)
Interpretação	requer agrônomo	requer conhecimento técnico	automatizada (IA generativa)
Acessibilidade	baixa (logística física)	média (apps proprietários)	alta (Telegram)

Os dados reais e os simulados relativos à temperatura e umidade apresentaram simetria comportamental, sugerindo que o modelo de upload, armazenamento de dados, processamento através de IA, comportamento do *chatbot* e emissão de dashboards relativos aos demais parâmetros seguirá o mesmo padrão.

Neste sentido, o projeto atingiu o objetivo de criar uma solução funcional, robusta e de baixo custo. A integração da IA (Gemini 2.5) provou ser a chave diferencial que transforma dados brutos em conhecimento acionável para o produtor.

5. Conclusão

Este estudo apresentou o desenvolvimento de sistema computacional de baixo custo para o controle da qualidade do solo em plantações de pequeno porte, validado com dados reais e sintéticos. A solução inovou ao integrar, simultaneamente, tecnologias consolidadas de IoT, Big Data, BI, bancos de dados NoSQL e IA a microprocessadores ESP32, sensores e *chatbot* do aplicativo de mensagens Telegram, e os *dashboards* gerados por IA (Gemini 2.5) evidenciaram a robustez do sistema e a qualidade dos dados. Além disso, tendo em vista o baixo custo dos materiais empregados na concepção do modelo e a peculiaridade do mesmo poder operar gratuitamente a Gemini 5.5, o acesso de pequenos produtores à Agricultura 4.0 parece estar mais próximo.

A interação do usuário final com a aplicação também foi facilitada através de duas interfaces principais: dashboard e chatbot. Nesse contexto, o Streamlit consome os dados do MongoDB e plota gráficos de linha para histórico de temperatura/umidade e cartões de métricas (KPIs) com o estado atual da horta, de forma simples e acessível à maioria das pessoas. Por sua vez, o *chatbot* inteligente, baseado no Telegram, em consulta à API/Banco de Dados, permite que o agricultor faça perguntas em linguagem natural e receba relatórios instantâneos baseados nos últimos dados reais coletados. Sua programação lhe permite apenas responder a perguntas pertinentes ao domínio trabalhado, de modo que, mesmo sendo de fácil manuseio, o usuário pode apenas fazer

perguntas relativas a sua A Figura 4 apresenta exemplo de *dashboard* obtido a partir dos dados coletados durante a pesquisa.

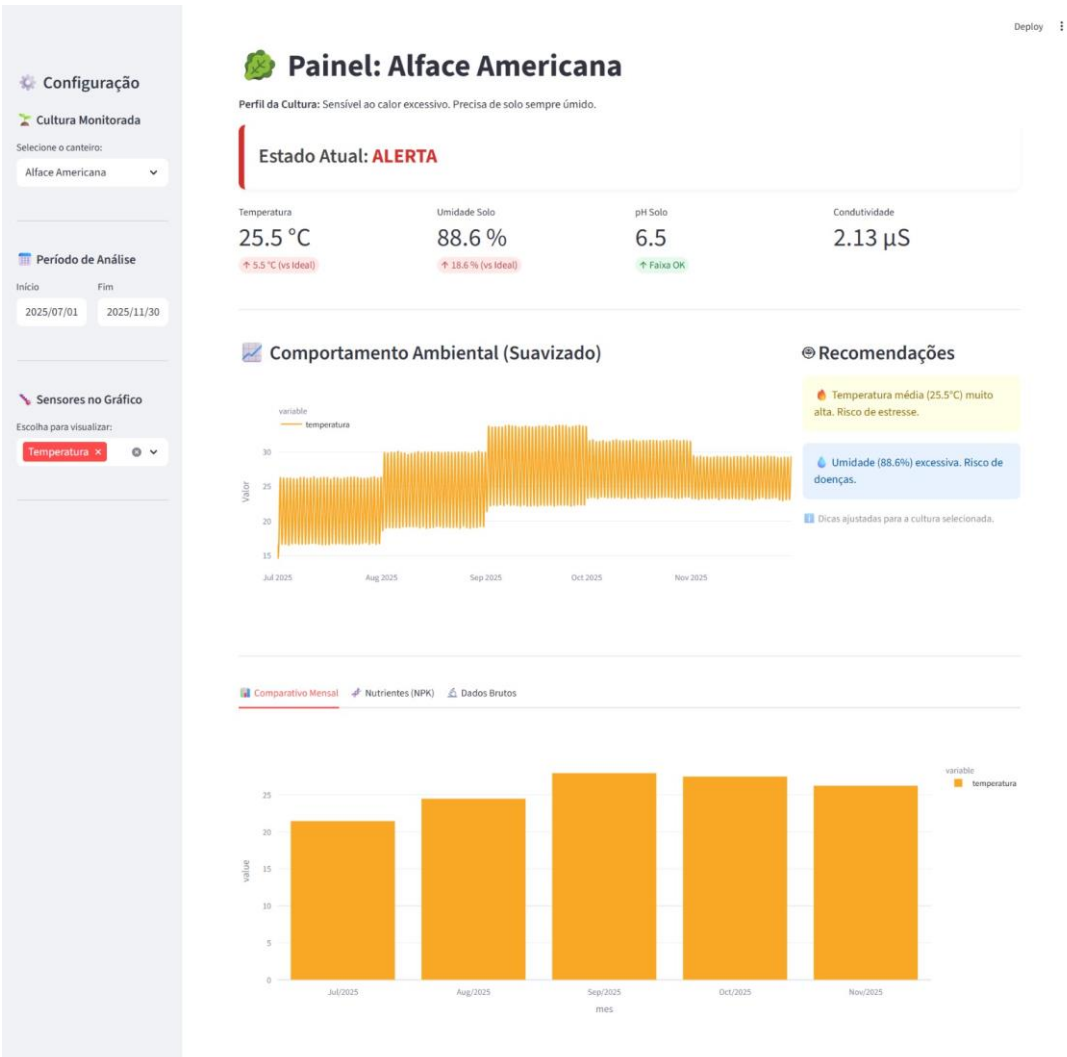


Figura 4: Dashboard gerado pela Gemini 2.5. e exibido via chatbot, contendo informações resultantes de dados sintéticos produzidos ao longo da pesquisa.

As limitações da pesquisa se refletem na falta de tempo e equipamento adequado ao registro e tratamento de dados reais, que possibilitem a execução de testes exaustivos para validação empírica do sistema.

Está prevista a aquisição de servidor em nuvem e novos sensores para as próximas etapas de desenvolvimento deste projeto, no sentido de promover a sua validação com sensores de NPK, implantação de irrigação automática e análises de séries temporais, de modo a tornar sua estrutura mais consistente e conectada ao mundo real, mantendo, contudo, sua característica de ser de fácil acesso a pequenos empresários do ramo da produção de alimentos, como aqueles dedicados a agricultura familiar.

Referências

- Almeida, Damião R.; Alves, André L. F.; Batista, Cláudio de Souza; Figueiredo, Hugo F.; Freire, Pedro C. A.; Silva, Diego M. T. **Uso de Business Intelligence na gestão de recursos hídricos: o caso da fiscalização do uso da água**. Porto Alegre: SBC, 2019. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wcama/article/view/6415>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Almeida, Léo Grieco de. **Gestão de processos e a gestão estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- Araújo, Fernanda B. F.; Araújo Júnior, Odilon R. & Santana, Gustavo G. **Tecnologias na agricultura 4.0**. Araguaína: Facit Business and Technology Journal, agosto de 2024, v. 1, n. 53, Págs. 74-96. Disponível em: <https://revistas.faculdefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/2929>. Acesso em 25 out. 2025.
- Assis, Kamila C. C.; Piantoni, Jane & Azevedo, Rodrigo F. **Tecnologias em agricultura inteligente: eficiência e sustentabilidade**. Itabira: Research, Society and Development, v. 13, n. 4, e7013445072, 2024. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/45072/36289>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Carvalho, Jhonatan & Guimarães, Núbia Rosa da Silva. **Utilizando sensores de IoT e Big Data para aprimorar a produção de culturas de precisão: uma análise**. Goiás: UFCAT, 2024. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/UTILIZANDO_SENsoRES_DE_IOT_E_BIG_DATA_PARA_APRIMORAR_A_PRODU%C3%87%C3%83O_DE_CULTURAS_DE_PRECIS%C3%83O_UMA_AN%C3%81LISE.pdf. Acesso em 25 out. 2025.
- Chieppe Júnior, J. B.; Pereira, Ana Lúcia; Stone, Luís Fernando; Moreira, José A. A.; Klar, Antônio Evaldo. **Efeito de métodos de determinação de parâmetros para o controle da irrigação na eficiência do uso da água do feijoeiro, sob três diferentes lâminas de água no solo**. Botucatu: Irriga, v.13, n.4, p.507-516, outubro-dezembro, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/216267/1/IBChieppe.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Costa, Flávia S. F. **Aplicação do Power BI na gestão de indicadores de desempenho para o agronegócio: uma breve revisão**. Ilha Solteira: UNESP, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/55bc761d-ea30-41ef-bfd7-075bb4089f09/download>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Damasceno, Luís Eduardo; De Paula, Melise M. V.; Souza, Vanessa C. O.; Mota, Fávio B. S.. **Estudo comparativo de banco de dados NoSQL para gerenciamento de séries espaço-temporais**. Fortaleza: Proceedings of the 40th Brazilian Symposium on Data Bases, 2025. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbbd/article/view/37261/37044>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Dias, Donaldo de Sousa & Gazzaneo, Giosafatte. **Projeto de sistemas de processamento de dados**. 11. ed., Rio de Janeiro: LTC, 1985.

- Ferreira, Amanda M.; Nascimento, Gabrielly C. & Santos, Leandro C. **Tecnologia da internet das coisas na agricultura 4.0: uma revisão sistemática**. São Paulo: EnGeTec, dez. 2019. Disponível em: https://www.fateczl.edu.br/engetec/engetec_2019/2_ENGETEC_paper_115.pdf. Acesso em 25 out. 2025.
- Lakatos, E. M. & Marconi, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed., São Paulo: Atlas, 2003.
- Lima, Vitor Fernandes & Primo, André Luis Gobbi. **Progresso da agricultura com a Internet das Coisas (IoT)**. São Paulo: IFSP, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/78rJKPRVQmQBm6tzGQNBcZz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 25 out. 2025.
- Lisbinski Fernanda C. Mühl, Diego D.; Oliveira, Letícia de; Coronel, Daniel Arruda. **Perspectivas e desafios da agricultura 4.0 para o setor agrícola**. Porto Alegre: VIII Simpósio da Ciência do Agronegócio, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/218601/001122708.pdf?se>. Acesso em 25 out. 2025.
- Massruhá, Silvia M. F. S.; Leite, Maria A. A.; Luchiari Junior, Ariovaldo; Evangelista, Sílvia R. M.. **A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente**. Brasília: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1126214/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Mayer-Schonberger Viktor. **Big Data: como extrair volume, variedade, velocidade e valor da avalanche de informação cotidiana**. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- Medeiros, Ernani Sales de. **Desenvolvendo software com UML 2.0: definitivo**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2004.
- Menezes, José A. L.; Santos, Thais E. M.; Monteiro, Abelardo A. A.; Silva, José R. L. **Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco**. Cruz das Almas: Water Resources and Irrigation Management, v.2, n.1, p.45-51, 2013. Disponível em <https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/wrim/article/view/1596>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Novaes, Adna K. S.; Santos, Flavia P.; Oliveira, Jaqueline R.; Marques, Larissa R. Q.; Reis, Walquiria R.. **Proposta de um software para a gestão em uma propriedade rural no município de Catalão**. Catalão: UNA, 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/867d8330-252a-4e72-a57d-fd84356591f8/download>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Oliveira, Sérgio. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec, 2017.
- Robaima, Ricardo Peixoto & Camargo, Sandro da Silva. **Georreferenciamento e bancos de dados NoSQL: uma análise do panorama atual na agropecuária de precisão**. Salta (Argentina): Jornadas Argentinas de Informática, 2019. Disponível em: <http://170.210.201.137/pdfs/cai/CAI-13.pdf>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Santana, Guilherme B. & Silva, Thiago C. A. **Automação de um sistema de irrigação com ESP32, com controle e monitoramento através do Blynk IoT**. Cubatão: IFSP,

2023. Disponível em: <https://repositorio.ifsp.edu.br/bitstreams/4ffbbb3c-53f3-477c-861b-b241e863d881/download>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Santos, Francisco C.B. **Redes Neurais Artificiais e uma aplicação na área de crédito: uma proposta de metodologia**. São Paulo, 2003. Disponível em <https://revistas.pucsp.br/index.php/pensamentorealidade/article/download/8463/6275/20649>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Santos, Luiz P.; Corado, Daiene F. S.; Araújo, Humberto X. **Aplicação da internet das coisas para desenvolvimento de ferramenta de apoio no monitoramento sistemático da umidade do solo**. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 10., 2019, Belém. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019 . p. 117-124. ISSN 2595-6124. Disponível em <https://sol.sbc.org.br/index.php/wcama/article/view/6426>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Santos, Silvânio R. S. & Pereira, Geraldo M. **Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões de água no solo, em ambiente protegido**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.3, p.569-577, set./dez. 2004. Disponível em <https://www.scielo.br/j/eagri/a/NFGdypYMJKtZDsnjZdQz3tn/>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Siqueira, Frank A.; Lung, Lau Cheuk; Greve, Fabíola G. P.; Freitas, Allan E. S.. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos s (34: 2016: Salvador, BA)**. Porto Alegre: SBC, 2016. Disponível em <http://sbrc2016.ufba.br/>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Tamachiro, Thiago S. O.; Oliveira, Fernanda R.; Gayer, Jéssika A. C. A.; Kleina, Mariana; Marques, Marcos A. M. **Big data technology applications in agriculture: a systematic literature review**. São Paulo: Exacta, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/17765/9076>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Trova, Eduardo; Rodrigues, Enzo; Andrade, Victor; Silva, Leandro A. **IoT na agricultura: aprimoramento da gestão hídrica através de monitoramento em tempo real**. São Paulo: Mackenzie, 2024. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/40158>. Acesso em 25 out. 2025.
- Vasconcelos, Roberto S. D. **Projeto de sistema de monitoramento e controle para irrigação**. Campina Grande: UFCG, 2024. Disponível em: [https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/39160/1/ROBERTO%20DA%20SILVA%20DOURADO%20VASCONCELOS-MONOGRAFIA-ENGENHARIA%20EL%C3%89TRICA-CEEI%20\(2024\).pdf](https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/39160/1/ROBERTO%20DA%20SILVA%20DOURADO%20VASCONCELOS-MONOGRAFIA-ENGENHARIA%20EL%C3%89TRICA-CEEI%20(2024).pdf). Acesso em: 25 out. 2025.