



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE BAIXO CUSTO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO CONTÍNUO DE VARIÁVEIS DE SOLO

Talita Maria Tabosa da Silva¹; Eric Gabriel Fernandez A. da Silva¹; Thayná Alice Brito Almeida¹ & Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹

Palavras-chave: condutividade elétrica; sensor; sistemas embarcados; semiárido

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro apresenta baixa pluviosidade, elevada variabilidade das chuvas e altas taxas de evapotranspiração, resultando em déficit hídrico recorrente, o que torna o solo o principal reservatório de água para os sistemas agrícolas e ambientais (EMBRAPA, 2018; FAO, 2021). A dinâmica da água no solo é influenciada por atributos físico-hídricos, com destaque para a umidade do solo e a condutividade elétrica (CE). A umidade do solo está diretamente relacionada à disponibilidade hídrica e ao desenvolvimento das culturas, enquanto a condutividade elétrica é amplamente utilizada como indicador indireto da presença de sais solúveis e da umidade do solo, contribuindo para a identificação precoce de processos de degradação e riscos à desertificação (HILLEL, 1998; LIBARDI, 2018).

Diante da variabilidade ambiental e das propriedades do solo, o monitoramento contínuo torna-se essencial para representar adequadamente a dinâmica hídrica, uma vez que medições pontuais podem ser limitadas. Nesse contexto, a instrumentação agrícola e ambiental baseada em sensores e tecnologias IoT possibilita a aquisição de dados em tempo real e a análise temporal das variáveis, apoiando a tomada de decisão no manejo do solo e da água (AYERS; WESTCOT, 1999; EMBRAPA, 2018).

Estudos recentes destacam o uso de sistemas baseados em sensores, conectividade em nuvem e inteligência artificial para o monitoramento contínuo de variáveis do solo e de processos hidrológicos, evidenciando o potencial de redes de sensores e tecnologias e baixo custo (SANZ, E.; GONZÁLEZ, J.; MARTÍNEZ, L.; RODRÍGUEZ, A., 2024; DUARTE, J. R.; NUÑEZ, D. N. C., 2024).

Nesse contexto, o presente estudo avaliou o uso de um sensor de condutividade elétrica para o acompanhamento das condições do solo em ambiente semiárido, utilizando a inteligência artificial como apoio à interpretação dos dados.

METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Água e Solo (LAS) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), utilizando Neossolo Regolítico. e

¹) Universidade Federal Rural de Pernambuco; R. Dom Manuel de Medeiros, S/N; talita.tabosa@ufrpe.br; eric.fernandez@ufrpe.br; thayna.britoalmeida@ufrpe.br; montenegroufrpe@gmail.com

regiões semiáridas, apresentando variações texturais e suscetíveis a alterações no teor de umidade e na concentração de sais solúveis, fatores que influenciam diretamente a condutividade elétrica do solo.

O sistema foi desenvolvido por meio de um sistema de instrumentação baseado em um sensor de salinidade/condutividade elétrica do solo THC-S, conectado a um microcontrolador ESP32 por meio de um conversor de dados TTL–RS485, permitindo a comunicação serial entre os dispositivos. O microcontrolador ESP32 foi programado utilizando a Arduino IDE, com a linguagem C/C++, sendo responsável pela leitura dos dados do sensor, organização das informações e registro temporal. Leituras que retornaram valor igual a zero para as variáveis monitoradas foram interpretadas como falha de leitura ou comunicação com o sensor e, portanto, não foram registradas no banco de dados, sendo apenas sinalizadas pelo sistema. Esse procedimento foi adotado com o objetivo de evitar o armazenamento de dados não representativos das condições reais do solo e a sobrecarga do sistema de armazenamento.

Os dados coletados pelo ESP32 foram transmitidos via conexão Wi-Fi para um banco de dados em nuvem na plataforma Supabase, onde foram armazenadas informações de identificação do sensor, georreferenciamento, valores de condutividade elétrica, variáveis ambientais e registro temporal. Esses dados foram disponibilizados em um painel web, permitindo a visualização em tempo real e histórica das leituras, bem como a análise temporal do comportamento da variável monitorada.

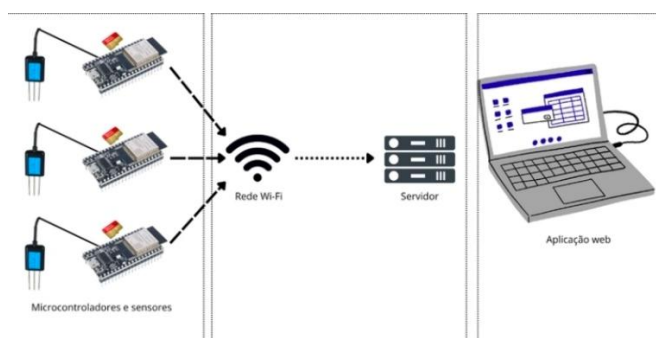


Figura 1- Arquitetura do sistema de monitoramento.

O sistema foi projetado para a coleta de dados reais do ambiente, gerando um grande volume de informações em curtos intervalos de tempo. Foi realizada a integração do sistema com uma inteligência artificial, por meio da API do Gemini, com o objetivo de auxiliar no processamento e na interpretação dos dados coletados. Os dados armazenados no banco de dados foram organizados e enviados à API, que realizou a análise automática das séries temporais, identificando padrões, variações relevantes e comportamentos anômalos. Como resultado, a inteligência artificial gerará relatórios sintéticos, destacando as principais informações de interesse, o que contribuiu para uma análise mais rápida e eficiente do comportamento da condutividade elétrica do solo ao longo dos ensaios.

RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstraram o funcionamento adequado do sistema de monitoramento proposto, desde a aquisição até a visualização dos dados. Durante os testes realizados em bancada, observou-se transmissão contínua e estável das informações, sem perdas significativas, evidenciando a viabilidade da comunicação entre o sensor de condutividade elétrica, o ESP32 e o banco de dados em nuvem via conexão Wi-Fi. Esse comportamento é compatível com sistemas de monitoramento baseados em

redes de sensores e plataformas em nuvem descritos na literatura recente (SANZ, E.; GONZÁLEZ, J.; MARTÍNEZ, L.; RODRÍGUEZ, A., 2024)

A integração do sistema com a inteligência artificial, por meio da API do Gemini, possibilitou a organização e a síntese dos dados gerados pelos sensores, auxiliando na interpretação das variações observadas durante os ensaios (Figura 2). Abordagens semelhantes, que utilizam inteligência artificial como ferramenta de apoio à análise de dados provenientes de sensores de solo, têm sido relatadas em estudos recentes, demonstrando seu potencial para lidar com grandes volumes de informações e apoiar diagnósticos ambientais e agrícolas (ISLAM, M. R.; RAHMAN, M. M.; HOSSAIN, M. A.; AHMED, S., 2023)

 **Dados Monitorados do Solo**

Timestamp	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Condutividade Elétrica (dS/m)
2025-12-10 16:45:47	26.4	0	0
2025-12-10 16:46:17	26.4	0	0
2025-12-10 16:47:17	26.5	0	0
2025-12-10 16:48:18	27.5	22.9	0.07
2025-12-10 16:49:18	27.6	22.9	0.068
2025-12-10 16:50:19	27.5	22.9	0.067
2025-12-10 16:51:20	27.5	23	0.066
2025-12-10 16:52:21	27.4	23	0.066
2025-12-10 16:53:22	27.3	23	0.065
2025-12-10 16:54:22	27.1	23.1	0.065
2025-12-10 16:55:23	27	23.1	0.065
2025-12-10 16:56:24	26.9	23.1	0.065
2025-12-10 16:57:23	27.1	45	0.142
2025-12-10 16:58:24	27	44.9	0.145

Figura 2 - Painel web com dados de temperatura, umidade e condutividade elétrica do solo, organizados e apresentados com apoio de inteligência artificial.

A resposta do sensor de condutividade elétrica às condições experimentais observadas está em consonância com estudos que destacam a relevância desse tipo de sensor (HORVÁTH, J.; KOVÁCS, A.; TÓTH, B., 2024). Ademais, a utilização de um sistema de instrumentação de baixo custo reforça a viabilidade da aplicação em estudos experimentais, alinhando-se a trabalhos que discutem a calibração e o uso desses sensores em contextos reais de monitoramento do solo (DUARTE, J. R.; NUÑEZ, D. N. C., 2024).

De modo geral, a aquisição e a transmissão contínua dos dados demonstraram a confiabilidade da conectividade e a aplicabilidade do sistema para estudos experimentais. Ressalta-se que a inteligência artificial não substitui os métodos científicos tradicionais nem a interpretação técnica do pesquisador, mas atua como ferramenta de apoio à sistematização das informações, especialmente em cenários caracterizados por grande volume de dados.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciam que a instrumentação baseada em sensores permitiu a integração do sistema com a inteligência artificial, por meio da API do Gemini, atuou como ferramenta de apoio à análise dos dados, contribuindo para a organização, síntese e identificação de padrões nas séries temporais geradas pelos sensores, constituindo uma alternativa viável para o monitoramento das condições do solo em ambientes semiáridos.

Os próximos passos para o presente trabalho consistem em embarcar o módulo desenvolvido, tornando possível deixá-lo exposto ao ambiente avaliado, bem como realizar a calibração do sensor utilizado e assim adquirir dados reais para a avaliação dos resultados e relatórios gerados pela inteligência artificial embarcada no sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ, FACEPE e CAPES, a UFRPE pelo apoio institucional, e ao Laboratório de Água e Solo da UFRPE.

REFERÊNCIAS

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. (Estudos FAO – Irrigação e Drenagem, 29).

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The state of the world's land and water resources for food and agriculture: systems at breaking point. Rome: FAO, 2021.

HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego: Academic Press, 1998.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. 2. ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Dependência espacial da umidade do solo e da condutividade elétrica aparente em ambiente semiárido. Irriga, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 1–16, 2019.

RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. M. Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Rome: FAO, 1999. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 57).

DUARTE, J. R.; NUÑEZ, D. N. C. Low-cost soil moisture sensor calibration. Brazilian Journal of Science, v. 3, n. 2, p. 132–142, 2024. DOI: 10.14295/bjs.v3i2.517.

HORVÁTH, J.; KOVÁCS, A.; TÓTH, B. An electrical conductivity sensor for the selective determination of soil salinity. Sensors, Basel, v. 24, n. 11, p. 3296, 2024. DOI: 10.3390/s24113296.

ISLAM, M. R.; RAHMAN, M. M.; HOSSAIN, M. A.; AHMED, S. Machine learning enabled IoT system for soil nutrients monitoring and crop recommendation. Journal of Agriculture and Food Research, v. 14, p. 100880, 2023. DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100880.

SANZ, E.; GONZÁLEZ, J.; MARTÍNEZ, L.; RODRÍGUEZ, A. Cloud-based system for monitoring event-based hydrological processes based on dense sensor network and NB-IoT connectivity. Environmental Modelling & Software, v. 182, p. 106186, 2024. DOI: 10.1016/j.envsoft.2024.106186.