



Coleta de dados químicos em rios: uso da comunicação LoRa e análise com inteligência artificial

Ademir Goulart | ademir.goulart@ifsc.edu.br

Ester Hasse | ester.hasse@ifsc.edu.br

Ramon Lodi de Sousa | ramon.s2004@aluno.ifsc.edu.br

RESUMO

O projeto propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento ambiental voltado à coleta automatizada de dados químicos em corpos hídricos, com foco na detecção de nitratos em regiões agrícolas do Vale do Itajaí, Santa Catarina. A pesquisa parte da constatação de que os métodos tradicionais de monitoramento são limitados em frequência e cobertura, comprometendo a eficácia das ações de prevenção à contaminação por defensivos agrícolas. Para solucionar essa lacuna, será implementada uma rede de sensores IoT com comunicação LoRa, capaz de transmitir dados em tempo real para um banco de dados centralizado. O estudo prevê o desenvolvimento do hardware de coleta, a calibração de sensores, a criação de infraestrutura de comunicação e o uso de algoritmos de inteligência artificial para detecção de anomalias e previsão de concentração de nitratos. Os resultados esperados incluem a geração de uma base de dados robusta para análise ambiental, a validação da aplicabilidade do sistema em campo e a proposição de um modelo escalável de monitoramento de qualidade da água. A iniciativa alia inovação tecnológica e responsabilidade ambiental, contribuindo para práticas agrícolas sustentáveis e para o avanço da pesquisa aplicada em sistemas IoT e inteligência artificial.

Palavras-chave: IoT; LoRa; inteligência artificial; monitoramento ambiental; nitratos.

1 INTRODUÇÃO

A contaminação de corpos hídricos por defensivos agrícolas é um problema crescente nas regiões de cultivo intensivo, especialmente nas lavouras de arroz do Vale do Itajaí. O Rio Trombudo, localizado no município de Agronômica (SC), é um exemplo de ambiente vulnerável à elevação dos níveis de nitratos decorrentes do uso de fertilizantes. Os métodos convencionais de coleta manual de amostras apresentam deficiências quanto à frequência de monitoramento, cobertura espacial e tempo de resposta. Nesse contexto, tecnologias emergentes de Internet das Coisas (IoT) e comunicação LoRa representam alternativas promissoras para a coleta contínua e de baixo custo de parâmetros ambientais, ampliando a precisão e a agilidade das ações de controle.

O presente projeto integra conhecimentos de computação, engenharia eletrônica e ciências ambientais, buscando desenvolver uma solução tecnológica de monitoramento automatizado da qualidade da água. A pesquisa é caracterizada como aplicada, pois objetiva converter conhecimentos científicos em um produto prático, de uso direto por instituições ambientais e produtores rurais. Além de contribuir para a sustentabilidade agrícola, o sistema proposto fomentará a criação de bancos de dados ambientais e o uso de inteligência artificial (IA) para a análise preditiva de contaminantes.

O projeto se insere no contexto da sustentabilidade ambiental e monitoramento de recursos hídricos, utilizando tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT) e comunicação de longo alcance e baixo consumo energético (LoRa). A delimitação específica abrange o desenvolvimento de um sistema para monitoramento da contaminação por defensivos agrícolas, com foco em nitratos, no Rio Trombudo, situado no município de Agronômica, Santa Catarina. O estudo compreenderá a implementação completa, desde a seleção e configuração de sensores até o tratamento dos dados com inteligência artificial, visando a detecção precoce de contaminações e a proposição de medidas preventivas para preservação deste importante recurso hídrico.

2 Fundamentação teórica

O monitoramento de parâmetros químicos em corpos hídricos próximos a áreas agrícolas representa um desafio técnico-científico que tem mobilizado pesquisadores globalmente. Segundo Lopes et al. (2023), a presença de nitratos provenientes de fertilizantes nitrogenados constitui um dos principais indicadores de contaminação agrícola, podendo causar eutrofização e comprometer a qualidade da água para consumo humano quando em concentrações superiores a 10 mg/L.

A tecnologia LoRa (Long Range) emerge como solução promissora para o monitoramento remoto em áreas rurais. De acordo com Santos e Oliveira (2024), esta tecnologia de comunicação LPWAN (Low Power Wide Area Network) oferece alcance de até 15 km em áreas rurais, com baixo consumo energético, possibilitando a transmissão de dados por dispositivos alimentados por baterias ou energia solar por períodos prolongados.

Cavalcanti (2024) demonstrou que sensores eletroquímicos de nitratos baseados em eletrodos de troca iônica apresentam durabilidade superior a seis meses em ambientes aquáticos, com necessidade mínima de manutenção e calibração, tornando-os ideais para monitoramento contínuo em rios. Complementarmente, Ferreira et al. (2023) validaram o uso de sensores de condutividade elétrica como parâmetros auxiliares para detectar a presença de contaminantes iônicos, incluindo aqueles provenientes de defensivos agrícolas.

A arquitetura IoT para monitoramento ambiental foi estudada por Rodrigues (2023), que propôs um modelo de referência composto por três camadas: sensoriamento (dispositivos de coleta), comunicação (protocolos de transmissão) e aplicação (armazenamento e análise). Este modelo tem se mostrado eficiente para aplicações ambientais, especialmente quando implementado com tecnologias abertas e modulares.

Na análise dos dados, técnicas de inteligência artificial têm revolucionado a interpretação de séries temporais ambientais. Silva et al. (2024) aplicaram algoritmos de aprendizado profundo (LSTM - Long Short-Term Memory) para prever concentrações de contaminantes em rios, alcançando precisão superior a 85% em horizontes de previsão de até 72 horas. Paralelamente, Mendes (2023) demonstrou que algoritmos de detecção de anomalias baseados em autoencoders são capazes de identificar eventos pontuais de contaminação mesmo com conjuntos de dados limitados.

A integração destas tecnologias para monitoramento específico de defensivos agrícolas foi explorada por Tanaka et al. (2024), que implementaram uma rede de sensores IoT com comunicação LoRa em áreas de cultivo de arroz no Japão, obtendo resultados promissores na detecção precoce de contaminações. No Brasil, experiências semelhantes foram conduzidas por Costa e Nogueira (2023) na Bacia do Rio Gravataí, utilizando dispositivos de baixo custo para monitoramento de parâmetros físico-químicos.

3 PROBLEMA E HIPÓTESES

3.1 Problema

Como implementar um sistema eficiente e autônomo de monitoramento em tempo real de contaminantes químicos, especialmente nitratos provenientes de defensivos agrícolas, no Rio Trombudo, considerando os desafios de comunicação em áreas rurais, limitações energéticas dos dispositivos e necessidade de análise preditiva dos dados?

3.2 Hipóteses

1. A tecnologia LoRa é adequada para transmissão eficiente de dados em áreas rurais com grande extensão territorial e limitações de infraestrutura.
2. O monitoramento contínuo de parâmetros químicos permitirá identificar padrões de contaminação relacionados aos ciclos de plantio e colheita do arroz.

3. Algoritmos de inteligência artificial, quando treinados com dados históricos, poderão prever tendências de contaminação e emitir alertas precoces.
4. Um sistema integrado de sensores, gateway e banco de dados permitirá o monitoramento autônomo e com mínima manutenção.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivos Geral

Coletar e analisar dados químicos de rios utilizando sensores IoT com comunicação LoRa e análise baseada em inteligência artificial.

4.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver protótipos de sensores químicos para detecção de nitratos;
- Implementar rede LoRa para comunicação entre os sensores e o gateway central;
- Projetar banco de dados e API para armazenamento e gestão das medições;
- Aplicar algoritmos de IA para análise preditiva e detecção de anomalias;
- Validar o sistema em campo no Rio Trombudo, com apoio de órgãos municipais e da EPAGRI.

5 METODOLOGIA

A metodologia adota um modelo incremental e ágil, estruturado em sete fases principais.

1. Levantamento bibliográfico: revisão sistemática sobre sensores de nitrato, LoRa e monitoramento IoT.
2. Desenvolvimento de hardware: integração de microcontroladores, sensores e módulos LoRa, com encapsulamento à prova d'água.
3. Infraestrutura de comunicação: instalação de gateway e implementação de protocolos de segurança e confiabilidade.
4. Backend e banco de dados: criação de API RESTful e sistema de armazenamento de séries temporais.
5. Desenvolvimento de IA: construção de modelos de detecção de anomalias e previsão de tendências de contaminação.

6. Implantação e testes: instalação dos sensores em campo e calibração por coletas paralelas manuais.
7. Análise e documentação: consolidação de resultados, ajustes de modelo e elaboração de relatórios científicos.

O gerenciamento do projeto segue princípios do Scrum, com sprints quinzenais e acompanhamento contínuo das etapas. A viabilidade técnica é assegurada pela maturidade das tecnologias IoT e LoRa, e a viabilidade prática conta com o apoio da Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de Agrônômica e da Associação de Produtores de Arroz.

6 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

A agricultura intensiva, particularmente o cultivo de arroz no Vale do Itajaí, tem gerado preocupações acerca dos impactos ambientais dos defensivos agrícolas nos corpos hídricos. O Rio Trombudo, que perpassa áreas de intensa atividade agrícola no município de Agrônômica, encontra-se potencialmente vulnerável à contaminação por nitrogênio e outros componentes químicos utilizados nas lavouras de arroz.

O monitoramento tradicional desses parâmetros químicos, realizado de forma manual e esporádica, apresenta limitações significativas quanto à frequência, abrangência espacial e tempo de resposta para intervenções. Neste contexto, o desenvolvimento de um sistema automatizado de monitoramento contínuo representa um avanço tecnológico essencial para a preservação dos recursos hídricos e para a sustentabilidade da produção agrícola.

Este projeto se enquadra como pesquisa aplicada, pois objetiva transformar conhecimentos científicos em soluções práticas para um problema ambiental concreto. A combinação de tecnologias IoT, comunicação LoRa e inteligência artificial constituirá uma solução integrada inovadora, gerando um produto tecnológico (sistema de monitoramento) com aplicação imediata e potencial de escalabilidade para outros rios da região.

Os benefícios são múltiplos: órgãos ambientais obterão dados precisos para fiscalização; produtores rurais poderão adequar suas práticas agrícolas; comunidades ribeirinhas terão maior segurança quanto à qualidade da água; e instituições de pesquisa disporão de bases de dados valiosas para estudos futuros sobre impactos ambientais de defensivos agrícolas.

A parceria com a Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de Agrônômica e com a Associação de Produtores de Arroz da região garantirá a aplicabilidade prática dos resultados e facilitará a transferência tecnológica. A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) atuará como consultora técnica, fornecendo parâmetros de referência para análise dos dados e interpretação dos resultados.



O projeto contribuirá para o avanço científico e tecnológico ao desenvolver métodos inovadores de integração entre sensores químicos, redes IoT e algoritmos de IA gerando conhecimentos replicáveis em outros contextos de monitoramento ambiental.

7 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se ao final do projeto dispor de um sistema funcional de monitoramento remoto capaz de coletar dados de nitrato de forma contínua e confiável. A análise com IA permitirá identificar variações significativas e prever picos de contaminação, subsidiando decisões de gestão ambiental. O sistema será documentado e poderá ser replicado em outras regiões com características semelhantes, ampliando o impacto social e científico da pesquisa.

REFERÊNCIAS

CAVALCANTI, M. E. Sensores eletroquímicos para monitoramento de nitratos em ambientes aquáticos: análise de desempenho e durabilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 42, n. 3, p. 85-97, 2024.

COSTA, R. M.; NOGUEIRA, T. F. Implementação de sistema IoT para monitoramento de qualidade da água na Bacia do Rio Gravataí. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 122-138, 2023.

FERREIRA, L. B. et al. Avaliação de sensores de condutividade para detecção indireta de contaminantes iônicos em águas superficiais. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 18, n. 4, p. 210-225, 2023.

LOPES, C. A. et al. Impactos de fertilizantes nitrogenados na qualidade da água: estudo de caso em bacias hidrográficas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 28, n. 1, p. 15-30, 2023.

MENDES, F. P. Algoritmos de detecção de anomalias baseados em autoencoders para monitoramento ambiental. **Revista Brasileira de Inteligência Artificial**, v. 21, n. 3, p. 245-261, 2023.

RODRIGUES, A. S. Arquitetura de referência para sistemas IoT de monitoramento ambiental. **Internet of Things Research Review**, v. 7, n. 2, p. 115-132, 2023.



SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, M. L. Análise de desempenho da tecnologia LoRa em áreas rurais brasileiras: alcance, consumo energético e confiabilidade. **Revista de Telecomunicações**, v. 26, n. 1, p. 45-62, 2024.

SILVA, M. R. *et al.* Previsão de concentrações de contaminantes em rios utilizando redes neurais recorrentes LSTM. **Brazilian Journal of Data Science**, v. 9, n. 1, p. 75-92, 2024.

TANAKA, H. *et al.* LoRa-based water quality monitoring system for rice paddies: design, implementation and evaluation. **Journal of Agricultural Informatics**, v. 12, n. 2, p. 145-162, 2024.