

EcoSense: Sistema Inteligente de Monitoramento da Qualidade do Ar com IoT e Análise Preditiva

**Daniel Montelo¹, Davi Marques¹, Rodrigo Machado¹,
Luan Lima¹, Eric Skowronski¹,
Willgnner Ferreira Santos¹, Alisson Rodrigues Alves¹**

¹Faculdade SENAI Fatesg
R. 227-A, 95 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74610-155

{daniel1757398, rodrigo1373487,
luan713686, eric1559663, davim1753606}@go.estudante.senai.br
{willgnnerferreira, alissonalves.senai}@fieg.com.br

Abstract. This paper presents the development of an intelligent system for monitoring and predictive analysis of air quality in Goiânia. Low-cost sensors connected to ESP32 microcontrollers were used to collect environmental data continuously, precisely, and cost-effectively. Information is transmitted via the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol from five nodes distributed across different regions of Goiânia: Setor Norte Ferroviário, Setor Jaó, Jardim Goiás, Setor Bueno, and Setor Central. The data, which is semi-synthetic (partially derived from the Open Meteo API), is stored in a non-relational database and processed in real-time using Big Data technologies, resulting in a dynamic interactive map that allows for clear and accessible tracking of pollution levels in each region. Beyond supporting academic research and guiding more effective public policies, the initiative reinforces an essential principle: access to clean and healthy air is a fundamental right for every citizen.

Resumo. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema inteligente de monitoramento e análise preditiva da qualidade do ar em Goiânia. Foram utilizados sensores de baixo custo conectados a microcontroladores ESP32 para coletar dados ambientais de forma contínua, precisa e economicamente viável. As informações são transmitidas via protocolo Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) a partir de cinco nós distribuídos por diferentes regiões de Goiânia: Setor Norte Ferroviário, Setor Jaó, Jardim Goiás, Setor Bueno e Setor Central. Os dados, que são semi-sintéticos (derivados parcialmente da API Open Meteo), são armazenados em um banco de dados não relacional e processados em tempo real com tecnologias de Big Data, resultando em um mapa interativo dinâmico que permite acompanhar, de maneira clara e acessível, os níveis de poluição em cada região. Além de apoiar pesquisas acadêmicas e orientar políticas públicas mais eficazes, a iniciativa reforça um princípio essencial: o acesso a um ar limpo e saudável é um direito fundamental de todo cidadão.

1. Introdução

O monitoramento da qualidade do ar tem se tornado um tema de grande relevância em razão do aumento da poluição atmosférica e de seus impactos sobre a saúde e o meio

ambiente. De acordo com os dados da Organização das Nações Unidas (ONU) a poluição do ar causou 8,1 milhões de mortes no ano de 2021, número que corresponde a 12 porcento das mortes no respectivo ano. Entretanto, ainda existem desafios relacionados ao monitoramento do ar, dificuldades como má distribuição e escassez de estações de medições, pouca notoriedade, além do alto custo, como evidenciado no [ONU News 2024], somado a alta taxa de poluição, no mundo atualmente.

A Agência Municipal do Meio Ambiente (AMMA) de Goiânia, instituída em 2007 como sucessora da antiga Secretaria Municipal do Meio Ambiente (Semma), consolidou-se como o principal órgão gestor da política ambiental no município. Sua criação representou um avanço institucional ao fortalecer mecanismos de governança e controle ambiental. Entre suas atribuições centrais, destacam-se a fiscalização de atividades potencialmente poluidoras, o monitoramento da gestão de resíduos sólidos e a avaliação contínua da qualidade do ar. Essas ações são fundamentais para assegurar o equilíbrio ecológico urbano e promover condições sustentáveis de desenvolvimento. Além disso, a atuação da agência contribui para a construção de uma cultura ambiental coletiva, reforçando a importância da proteção dos recursos naturais no contexto municipal.

Diante do cenário apresentado, nosso trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de monitoramento da qualidade do ar, empregando sensores de baixo custo material particulados (PMS 5003), gases poluentes (MQ-135) e um sensor de temperatura e umidade(DHT11/22) - integrados ao microcontrolador (ESP32). A comunicação dos dados é realizada por meio do protocolo MQTT, garantindo transmissão leve e eficiente para um servidor na nuvem, onde um script em Python realiza o tratamento e envio contínuo das informações para o banco de dados MongoDB Atlas. Em seguida, os dados são integrados ao Streamlit, que permanece em funcionamento 24 horas por dia e apresentando resultados em um mapa de calor interativo, possibilitando acompanhar a qualidade do ar em diferentes regiões de Goiânia.

Em síntese, o projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento da qualidade do ar utilizando sensores de baixo custo, oferecendo uma solução precisa, facilmente escalável e adequada para diferentes ambientes urbanos. A proposta busca demonstrar que tecnologias acessíveis que podem fornecer medições confiáveis e suportar expansões em larga escala para acompanhamento ambiental, assim o seu diferencial de outros trabalhos já realizados seria o uso de um agente de IA para detecção de anomalias que possibilita a formação de um mapa de calor.

2. Análise Comparativa

Esta seção apresenta uma análise comparativa entre os trabalhos relacionados e a arquitetura desenvolvida neste projeto. A Tabela 1 sintetiza as principais características de cada solução, considerando aspectos de monitoramento ambiental, integração em nuvem e incorporação de funcionalidades inteligentes. A comparação foi conduzida com base em cinco critérios (C1–C6), definidos a partir das dimensões mais recorrentes na literatura de sistemas de monitoramento da qualidade do ar. O critério C1, variedade de parâmetros monitorados, avalia a abrangência dos poluentes e das variáveis ambientais contempladas, incluindo, por exemplo, diferentes frações de material particulado e variáveis meteorológicas.

O critério C2, arquitetura de conectividade, examina as tecnologias empregadas

para transmissão dos dados, abrangendo protocolos de comunicação, meios físicos e topologia de rede adotada. O critério C3, processamento em nuvem, considera as ferramentas e plataformas utilizadas para armazenamento, análise e visualização dos dados em ambiente de nuvem. O critério C4, recursos de visualização, diz respeito aos mecanismos de apresentação dos resultados, tais como dashboards, relatórios e painéis interativos personalizados. Critério C5, funcionalidades adicionais, reúne capacidades complementares oferecidas pelas soluções, incluindo emissão de alertas, uso de inteligência embarcada, integração com dispositivos físicos e aspectos de robustez operacional. Por fim, o critério C6, sua funcionalidade está ligada a como foram coletados os dados em regiões específicas para exibir um mapa interativo contendo informações da qualidade do ar e temperaturas nas regiões, assim seria o primeiro mapa dinâmico público em Goiânia.

Tabela 1. Comparação de soluções de monitoramento da qualidade do ar segundo os critérios C1–C6.

Trabalhos	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Naik et al. (2023)	CO ₂ , SO ₂ , CH ₄ , NH ₃ , CO	Wi-Fi	Armazena mento em nuvem	Painel web e aplicativo móvel	–	NÃO
Kortoci et al. (2022)	CO, NO ₂ , O ₃ , Temp., Umid.	Bluetooth	–	–	Estação portátil	NÃO
Mashuri (2021)	CO, CO ₂ , LPG, CH ₄ , C ₄ H ₁₀	Wi-Fi	–	Página web simples	–	NÃO
AirSense (2023)	CO ₂ , VOCs, PM, Temp., Umid., pressão	Wi-Fi	InfluxDB	Dashboards em Grafana	PCB personalizada e gabinete 3D	NÃO
Este trabalho (Eco-Sense)	PM2.5, NH ₃ , CO ₂ , CO, Temp., Umid.	Wi-Fi via MQTT	MongoDB Atlas + Agente de IA	Painel interativo em Streamlit	Monitoramento web contínuo e alertas inteligentes	SIM

3. Trabalhos Relacionados

O artigo de [Mashuri 2021], descreve um sistema portátil de monitoramento da qualidade do ar integrado à tecnologia IoT (Internet of Things), criado para a cidade de Semarang (Indonésia). O sistema utiliza sensores de baixo custo conectados ao Arduino, para medir gases poluentes, além de temperatura e umidade. Os dados são enviados a servidores na nuvem e exibidos em tempo real, permitindo alertas automáticos quando a poluição ultrapassa limites seguros. Criar uma solução acessível e móvel para controle ambiental urbano.

O projeto de [Marques 2023], desenvolve um sistema de monitoramento da qualidade do ar em ambientes internos, utilizando o ESP32. Reunindo sensores de baixo

custo para medir temperatura, umidade, pressão, partículas. Os dados são enviados via Wi-Fi para uma base InfluxDB, visualizados em dashboards do Grafana. Inclui também o design de PCB (Printed Circuit Board), caixa 3D e testes práticos em uma sala de aula. Uma solução de baixo custo e alto desempenho para monitorar ambientes fechados.

O artigo de [Harsh et al. 2020], apresenta um sistema IoT para monitorar poluição atmosférica no centro de Mumbai (Índia) com sensores de baixo custo. Utiliza Arduino Uno e módulo Wi-Fi (ESP8266) para coletar dados sobre gases poluentes e fumaça, exibindo os resultados (em LCD e página web). Quando os níveis ultrapassam limites seguros, o sistema aciona um alarme e envia alertas via GSM (Global System for Mobile Communications). O monitoramento remoto de qualidade do ar em ambientes urbanos e industriais, com alertas automáticos de segurança.

Artigo [Cunha et al. 2024], propôs uma arquitetura de monitoramento de qualidade do ar aplicada a um campus universitário, combinando rede de longo alcance e baixo consumo (LoRaWAN) e a plataforma middleware para aplicações IoT (FIWARE). O sistema integra sensores distribuídos em vários pontos do campus, enviando dados para uma infraestrutura, com ênfase em escalabilidade e interoperabilidade. Criação de uma rede inteligente de sensores com gestão e visualização centralizadas para ambientes acadêmicos.

Vale ressaltar que embora existam diversas soluções IoT para monitoramento do ar, nenhuma integra simultaneamente o que EcoSense visa de forma diferencial um sistema de monitoramento do ar atmosférico oferecendo aos usuários um Mapa de Calor facilmente intuitivo e interativo. Além disso, possui uma integração com um Agente de IA com aprendizado automático (onde o mesmo detecta desvios fora do padrão do aprendizado em relação aos dados e faz o envio de alertas de anomalias para o e-mail do usuário). Por fim, juntamente ao Agente de IA, foi inserida uma IA supervisionada realizar a predição do ar, assim podendo prever alertas em possíveis problemas nos sensores.

4. Metodologia

A metodologia consiste em um fluxo que inicia com a coleta e transmissão de dados simulados, segue para seu armazenamento estruturado, avança para o processamento analítico e inferencial das informações e, posteriormente, apresenta os resultados em uma camada de visualização interativa. Por fim, a metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema, foi estruturada em uma arquitetura de:

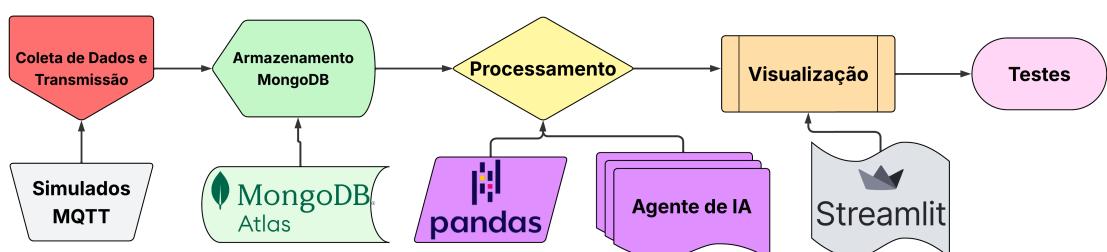


Figura 1. Arquitetura metodológica em seis camadas, envolvendo coleta e transmissão, armazenamento, processamento, visualização e testes.

4.1. Coleta dos Dados Sintéticos

Foi utilizada uma base de dados composta por dados semi-sintéticos, tomando como base por meio da API Open Meteo que realiza essa busca em tempo real, abrangendo períodos ao longo de algumas semanas do ano, incluem indicadores como localização (latitude e longitude), data e horário, temperatura, umidade, concentração de gases poluentes, concentração de partículas, e horários. A estruturação dos dados foi realizada utilizando o banco de dados MongoDB Atlas, por sua capacidade de lidar com dados semiestruturados e em tempo real, e possui uma otimização em receber uma alta demanda de dados enviados pelos sensores.

4.2. Transmissão dos Dados Sintéticos

Dessa forma, ao receber os dados via protocolo MQTT, os mesmos são convertidos em arquivos JavaScript Object Notation (Json), sendo armazenados no banco de dados não relacional em nuvem (Mongo DB Atlas). O método utilizado fornece uma transmissão de dados de forma fluida, leve e eficiente, além da alta confiabilidade e segurança durante a ação.

O porquê da relevância deste tópico é permitir testar, validar e otimizar sistemas digitais sem depender de dados reais, que muitas vezes são difíceis de coletar, sensíveis ou sujeitos a variações imprevisíveis. Com dados sintéticos, é possível simular cenários complexos, garantir segurança e privacidade, treinar modelos de inteligência artificial e avaliar a robustez de redes e protocolos de comunicação. Isso acelera o desenvolvimento, reduz custos e minimiza riscos, tornando os sistemas mais confiáveis antes de operarem com informações reais.

4.3. Processamento e Agente de IA

A seguir, o uso da biblioteca Pandas no nosso código ajuda a organizar e tornar os dados mais confiáveis para uso no banco de dados. Isso melhora a eficiência dos dados. Além disso, todos os dados armazenados no MongoDB Atlas passam por um processo que envolve o trabalho do Agente de IA, utilizando um modelo de Random Forest que aprende continuamente o padrão "normal" de poluição com base no histórico de horário, temperatura e umidade, usando o processamento ETL (Extração, Transformação e Carga).

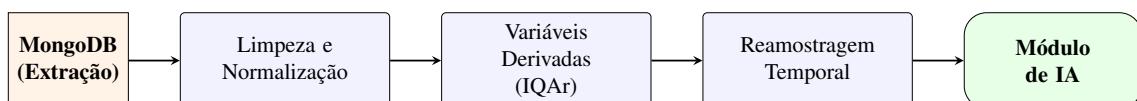


Figura 2. Fluxograma do processo ETL (Fluxo Horizontal).

Esse é um processo de integração de dados que inclui a coleta de informações de várias fontes, a limpeza desses dados e a conversão em um formato adequado para análise. Dessa forma, se houver uma discrepância significativa (desvio) entre a expectativa da IA e a realidade, ele identifica uma anomalia contextual, permitindo detectar incidentes sutis ou precoces que regras estáticas tradicionais falhariam em perceber, assim avisando ao usuário sobre isso.

4.4. Visualização

A visualização do projeto foi inteiramente desenvolvida através do Python, onde foi importada a biblioteca Streamlit (onde a mesma permite a criação de aplicativos Web interativos e Dashboards para análise de dados e projetos de aprendizado de máquina). Essa ferramenta foi utilizada por alguns motivos, e dentre eles seria a utilização de um mapa de calor interativo onde o usuário recebe alertas via e-mail do Agente de IA sobre anomalias na qualidade do ar presente nas regiões onde os sensores foram instalados.

A utilização das bibliotecas PyMongo, Pandas, Urllib e Datetime foi essencial para estruturar e processar os dados simulados gerados pelo agente de IA. Esse tratamento prévio garantiu a fluidez do dashboard no Streamlit, otimizando tanto a interpretabilidade do código quanto a clareza na apresentação das informações ao usuário final.

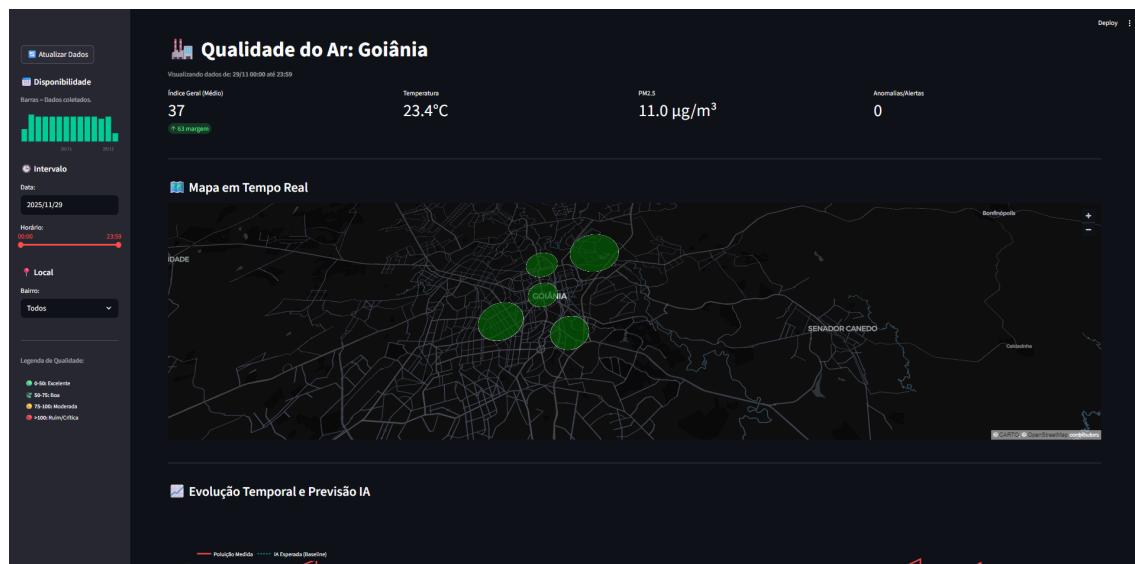


Figura 3. Visualização do Dashboard em Streamlit

A adoção dessa plataforma para a criação de painéis (Dashboards) trouxe diversos benefícios ao trabalho desenvolvido. Entre eles, destaca-se o ritmo acelerado de desenvolvimento, já que, com poucas linhas de código, é possível adicionar gráficos, tabelas interativas, botões flutuantes e outros componentes visuais. Sua sintaxe simples também favorece a construção de protótipos e permite realizar ajustes com agilidade ao longo do processo. Outro aspecto relevante é que a plataforma não exige conhecimento prévio em Front-End, pois possibilita a criação de interfaces interativas utilizando apenas Python, sem a necessidade de雇用HTML ou CSS.

5. Resultados

Este aprendizado sobre as informações que foram abordados mostram que para uma desenvoltura de novas tecnologias e cenários são possíveis, com a procura e inovações dentro do mercado contendo mais eficiência e fluidez, a necessidade seria desenvolver-se uma ampliação por conhecimento e criatividade em IoT, inovando ainda mais o mercado com novas formas de empreender e tornar uma empresa ou município evoluído.



Figura 4. Arquitetura em camadas do Projeto

Alguns fatores devem ser analisados para a acomodação da tecnologia do dia a dia evolvendo-se com a privacidade e como funcionariam a exportação de dados, termos e regras para que pessoas nocivas tentem invadir as aplicações, autorizações da instalação desses sensores em prédios ou postes feita através da prefeitura da região, limitações técnicas devido a fatores de conectabilidade (Wi-Fi), confiabilidade dependendo da recepção dos dados devido a latência ao localizar o banco e sua eficiência de energia dos sensores.

"Goiânia ocupa o segundo lugar entre as capitais com pior monitoramento da qualidade do ar no Brasil" [O Hoje 2025]. Nesse contexto, o ambientalista Henrique Cury aponta a carência de estações de monitoramento na capital, ressaltando que, embora anteriormente houvesse equipamentos ativos, estes foram descontinuados ao longo do tempo. A desativação desses pontos comprometeu a obtenção de dados e a confiabilidade histórica das medições. Além disso, Cury destaca que a ausência de inventários de emissões detalhados prejudica a identificação precisa das fontes de poluição, como veículos e indústrias.

Referências

- [Cunha et al. 2024] Cunha, N., Moraes, A., Silva, N., Malon, M., Junior, W., Alves, E., Eras, L., Victor, J., and Oliveira, A. (2024). Arquitetura de monitoramento de qualidade de ar baseada no lorawan e fiware em um campus universitário. pages 169–178.
- [Harsh et al. 2020] Harsh et al. (2020). Iot-based air pollution monitoring system. https://www.academia.edu/43773873/IOT_Based_Air_Pollution_Monitoring_System. Acessado em: 17 nov. 2025.
- [Marques 2023] Marques, R. M. (2023). Relatório de projeto - airsense: Qualidade do ar interior. https://bdigital.ipg.pt/dspace/bitstream/10314/9180/1/Rafael%20Marques_1011220.pdf. Acessado em: 17 nov. 2025.
- [Mashuri 2021] Mashuri, A. A. (2021). Air quality monitoring and decision support system using iot. *JAICT*.
- [O Hoje 2025] O Hoje (2025). Goiânia ocupa segundo lugar entre as capitais com pior monitoramento da qualidade do ar no brasil.

[ONU News 2024] ONU News (2024). Poluição do ar causou 8,1 milhões de mortes em 2021. <https://news.un.org/pt/story/2024/06/1833321>. Acessado em: 17 nov. 2025.