



Sistema IoT multiplataforma com método de interpolação espacial para análise e mapeamento de ruídos industriais

Germano Dolwitsch Coelho | germano.dc@aluno.ifsc.edu.br¹
Grégory Chagas da Costa Gomes | gregory.chagas@ifsc.edu.br²

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma plataforma inteligente para mapeamento e análise de ruído em ambientes industriais. A plataforma integra um aplicativo mobile e um dashboard web, ambos desenvolvidos com o framework Flutter, explorando sua capacidade multiplataforma a partir de uma única base de código. O aplicativo mobile realiza o cadastro de sensores IoT por meio de leitura de QR Code e captura automática de coordenadas GPS. O dashboard web exibe telemetrias e mapas de ruído em tempo real. Os sensores capturam ruído global e espectros de frequência em sete bandas, cujos dados são processados por um script Python que aplica krigagem ordinária para gerar superfícies de ruído espacialmente contínuas. Os resultados demonstraram mapas coerentes com a distribuição real dos sensores, dashboard funcional com atualização em tempo real e fluxo de provisionamento robusto via QR Code e GPS. A solução evidencia o potencial do Flutter como base tecnológica para plataformas IoT industriais e da krigagem como ferramenta eficaz para mapeamento acústico.

Palavras-chave: Krigagem; Internet das Coisas; Flutter; monitoramento industrial.

Introdução

No cenário da Indústria 4.0, o monitoramento contínuo de condições tornou-se essencial para garantir a eficiência produtiva e reduzir custos operacionais decorrentes de paradas não planejadas. O ruído acústico destaca-se como um indicador crítico no diagnóstico de anomalias em equipamentos de chão de fábrica, pois alterações nos padrões sonoros frequentemente precedem falhas mecânicas e elétricas. No entanto, a análise pontual e manual desses sinais é complexa, demanda especialistas e não fornece uma visão espacial e temporal contínua do ambiente industrial, dificultando a identificação precoce de fontes anômalas.

¹Estudante de Engenharia de Telecomunicações IFSC/São José, germano.dc@aluno.ifsc.edu.br.

²Servidor docente da Engenharia Mecatrônica do Câmpus Florianópolis do IFSC, gregory.chagas@ifsc.edu.br.

Diante dessa problemática, este trabalho desenvolveu uma plataforma inteligente de mapeamento e análise de ruído em tempo real, inserida no contexto de sistemas IoT para monitoramento industrial. A solução apresenta três contribuições centrais: (i) aplicativo mobile para provisionamento de sensores IoT via QR Code e GPS; (ii) dashboard web para visualização centralizada de telemetrias e mapas de ruído; e (iii) pipeline de interpolação espacial por krigagem ordinária para geração automatizada de superfícies acústicas contínuas, capazes de evidenciar padrões anômalos na distribuição do ruído. Ambas as interfaces foram desenvolvidas com Flutter, explorando sua capacidade multiplataforma a partir de uma única base de código, enquadrando-se nos princípios de inovação tecnológica e indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão do IFSC.

Fundamentação teórica

O monitoramento acústico industrial evoluiu das medições pontuais para redes de sensores sem fio (RSSF), que permitem alta densidade espacial e temporal de dados (Santos et al., 2018). Transformar essas leituras discretas em informação espacialmente contínua requer técnicas de interpolação. Entre os métodos disponíveis, a krigagem ordinária se destaca como interpolador geoestatístico ótimo: diferentemente de métodos determinísticos como o Inverse Distance Weighting (IDW), ela analisa o semivariograma experimental para modelar a correlação espacial dos dados, estimando valores em locais não amostrados com minimização do erro quadrático médio e fornecendo medida de incerteza associada a cada estimativa (Landim, 2003). Essa propriedade é especialmente relevante em cenários com número reduzido de sensores, condição em que o IDW tende a produzir artefatos de interpolação. A aplicabilidade da Krigagem ao mapeamento de poluição sonora já foi demonstrada em contextos urbanos (Guedes et al., 2011), e este trabalho estende sua aplicação ao monitoramento industrial em tempo real.

O Flutter é um framework de código aberto do Google que permite criar aplicações nativas para Android, iOS e web a partir de uma única base de código em linguagem Dart. Essa característica multiplataforma é particularmente valiosa no contexto de plataformas IoT industriais, onde é necessário oferecer simultaneamente uma interface de campo para

operadores e uma interface de supervisão para gestores, sem duplicar o esforço de desenvolvimento. A plataforma TagolO, utilizada como middleware de nuvem, fornece gerenciamento de dispositivos, armazenamento de séries temporais e API RESTful, desacoplando a aquisição de dados das camadas de análise e visualização.

Procedimentos metodológicos

A metodologia foi de natureza aplicada e experimental, organizada em três frentes: o aplicativo mobile, o dashboard web e o sistema de processamento de mapas de ruído.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa EMBRAPII, por meio do Polo de Inovação do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), em parceria com a unidade de pesquisa aplicada do câmpus Florianópolis. Em razão do nível de maturidade tecnológica (TRL) ainda incipiente da solução, os experimentos e validações foram conduzidos integralmente em ambiente laboratorial, especificamente nos laboratórios do IFSC, sem implementação em ambiente fabril real nesta etapa. A escolha por um ambiente controlado permitiu isolar variáveis externas e validar a arquitetura end-to-end da plataforma antes de uma futura transição para o chão de fábrica.

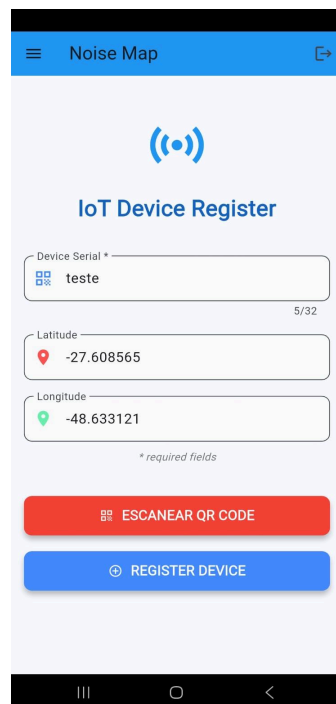
Aplicativo mobile (Flutter): Desenvolvido com arquitetura MVP para Android e iOS, o aplicativo integra a API RESTful do TagolO para autenticação e gerenciamento de dispositivos. O fluxo de provisionamento compreende: leitura do serial do sensor via câmera com decodificação de QR Code; captura automática de coordenadas GPS por média de amostras coletadas durante cinco segundos, reduzindo a variabilidade em relação a leituras pontuais; e validação da unicidade do serial junto à TagolO, seguida da criação do dispositivo com envio das coordenadas como telemetria inicial. A Figura 1 ilustra a tela de cadastro com as coordenadas preenchidas automaticamente.

Dashboard web (Flutter Web): Aproveitando a mesma base de código Dart, o dashboard web consome a API do TagolO para exibir em tempo real as telemetrias de cada sensor: nível de bateria, temperatura e ruído acústico. Os sensores capturam o nível global de ruído e o espectro de frequência em sete bandas de oitava, cobrindo a faixa auditiva mais relevante para monitoramento industrial conforme a NR-15. O dashboard

apresenta os dados em widgets visuais com classificação automática do nível de risco, conforme ilustra a Figura 2.

Sistema de interpolação por krigagem: Um script Python automatizou o pipeline de coleta, interpolação e publicação dos mapas. Para cada sensor, o script recupera os dados das últimas 24 horas para o ruído global e para as sete bandas espectrais via API do TagoIO, agrega os valores por média diária e aplica krigagem ordinária com ajuste automático de variograma exponencial sobre uma grade regular de 13×13 pontos. A Figura 3 exemplifica a interpolação espacial por Krigagem, onde amostras discretas originam uma superfície contínua estimada. Os mapas são enviados ao TagoIO e disponibilizados ao dashboard via URL pública com atualização em tempo real.

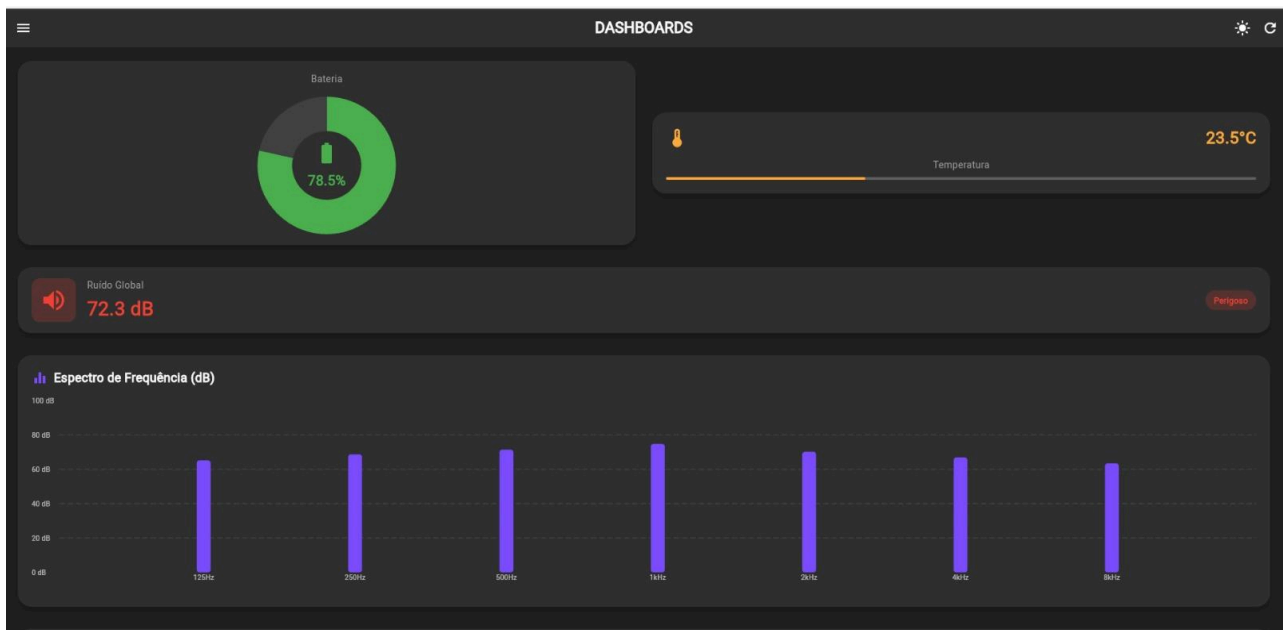
Figura 1 – Tela de cadastro IoT



The screenshot shows a mobile application interface titled "Noise Map" with a menu icon on the left and a share icon on the right. Below the title is a blue icon representing a signal or connection. The main heading is "IoT Device Register". There are three input fields: "Device Serial *" with a QR code icon and the text "teste" (with a character count of 5/32), "Latitude" with a location pin icon and the value "-27.608565", and "Longitude" with a location pin icon and the value "-48.633121". Below these fields is a small text "* required fields". At the bottom, there are two buttons: a red one labeled "ESCANEAR QR CODE" and a blue one labeled "REGISTER DEVICE". The bottom of the screen shows a standard Android navigation bar.

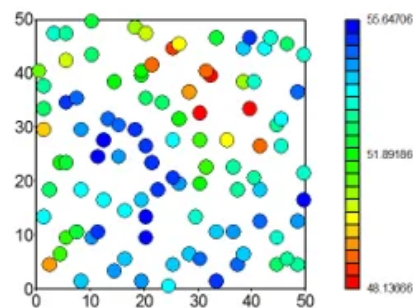
Fonte: Autor (2026).

Figura 2 – Dashboard web para análise de dados



Fonte: Autor (2026).

Figura 3 – Exemplo de interpolação espacial por krigagem



Fonte: GEOKRIGAE (2016).

Resultados e discussões

Krigagem e mapas de ruído: A krigagem ordinária com variograma exponencial produziu superfícies de contorno suaves e coerentes com a distribuição real dos sensores. Sua capacidade de minimizar o erro de estimativa mostrou-se superior ao IDW especialmente pela configuração assimétrica dos pontos amostrais. Os mapas para o ruído global e as sete bandas espectrais foram processados e publicados com sucesso no TagoIO em tempo real. Uma verificação prévia garante a robustez do pipeline ao interromper o processamento quando o número de sensores com dados válidos é insuficiente para o ajuste do variograma.

Flutter multiplataforma para IoT industrial: O desenvolvimento simultâneo do aplicativo mobile e do dashboard web com Flutter demonstrou na prática a viabilidade do framework como base tecnológica unificada para plataformas IoT industriais. A reutilização da lógica de integração com o TagoIO reduziu o esforço de desenvolvimento e garantiu consistência entre as interfaces. O fluxo de provisionamento via QR Code foi executado com sucesso em todos os testes, e o dashboard atualizou os dados de ruído, bateria e temperatura em tempo real, validando a arquitetura end-to-end da plataforma.

Quanto ao contexto de aplicação, ressalta-se que todos os testes foram realizados nos laboratórios do IFSC, no âmbito do Polo de Inovação vinculado ao Programa EMBRAPPII. O nível de maturidade tecnológica atual da solução (TRL baixo) ainda não comporta implantação direta em ambientes industriais reais, onde variáveis como interferências eletromagnéticas, geometrias complexas de planta, obstruções físicas e requisitos de segurança operacional impõem desafios adicionais não contemplados nesta fase. Os resultados obtidos em laboratório, contudo, validam os fundamentos da arquitetura proposta e constituem base sólida para as etapas subsequentes de evolução do TRL.

Considerações finais

O projeto consolidou uma prova de conceito de plataforma inteligente para monitoramento de ruído industrial. A krigagem ordinária demonstrou ser um método eficaz para geração de mapas acústicos a partir de número reduzido de sensores, superando limitações de métodos determinísticos ao produzir estimativas com medida de incerteza distribuída espacialmente. O Flutter confirmou seu potencial como tecnologia unificada para plataformas IoT industriais, entregando uma ferramenta de campo robusta — aplicativo mobile com QR Code e GPS — e uma interface de supervisão em tempo real com visualização do espectro de frequência, a partir de uma única base de código. Como perspectiva futura, destacam-se a detecção automática de anomalias acústicas com aprendizado de máquina, o aumento do TRL por meio de testes-piloto em ambientes industriais reais junto a parceiros do Programa EMBRAPPII, e a validação da robustez da plataforma frente às condições adversas típicas do chão de fábrica.



Referências

Guedes, I. C. M., et al. (2011). Mapeamento de ruído urbano utilizando técnicas de interpolação. Revista Brasileira de Geofísica, 29(3), 497-508.

Landim, P. M. B. (2003). Análise estatística de dados geológicos multivariados. São Paulo: Editora UNESP.

Santos, L. B., et al. (2018). Rede de sensores sem fio para monitoramento de ruído ambiental: uma revisão. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Maceió.