

IoT para Preservação do Patrimônio Cultural: Monitoramento da Qualidade do Ar em Igreja na Lagoa da Conceição/Florianópolis

IoT for Cultural Heritage Preservation: Air Quality Monitoring in a Church at Lagoa da Conceição, Florianópolis

Ernestina Rita Meira Engel, Doutoranda, UFSC

ernestinaengel@gmail.com

Pedro Henrique de Souza Santos, graduando, UFSC

pedro.henrique.ss0105@gmail.com

Lisiane Ilha Librelotto, Dra, UFSC

lisiane.librelotto@gmail.com

Número da sessão temática da submissão – []

Resumo

No contexto climático atual, a IoT (Internet das Coisas) apresenta-se como uma solução viável para integrar estratégias de monitoramento ambiental, incluindo a preservação do patrimônio cultural. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de um sistema IoT para monitoramento da qualidade do ar na Igreja de Nossa Senhora da Conceição da Lagoa, em Florianópolis – SC. O sistema utiliza um microcontrolador ESP32 integrado aos sensores SCD30 (CO₂, temperatura e umidade) e MICS6814 (CO, NH₃ e NO₂), instalados em ambientes interno e externo da igreja. Os dados são armazenados localmente e na nuvem, permitindo registro contínuo mesmo sem conexão. As leituras são transmitidas automaticamente via Wi-Fi para o Google Apps Script, que registra as informações em uma planilha. A metodologia envolveu calibração dos sensores, desenvolvimento do firmware para aquisição e envio dos dados, implementação de rotinas de tratamento das leituras e análise dos resultados iniciais, demonstrando a viabilidade do sistema.

Palavras-chave: IoT; Gestão da Sustentabilidade; Monitoramento; ESP32; Arduino.

Abstract

In the current climate context, the IoT (Internet of Things) presents itself as a viable solution for integrating environmental monitoring strategies, including the preservation of cultural heritage. This work presents the development and application of an IoT system for monitoring air quality at the Church of Nossa Senhora da Conceição da Lagoa, in Florianópolis, SC. The system uses an ESP32 microcontroller integrated with SCD30 (CO₂, temperature, and humidity) and MICS6814 (CO, NH₃, and NO₂) sensors installed inside and outside the church. The data is stored locally and in the cloud, allowing continuous recording even without a connection. The readings are automatically transmitted via Wi-Fi to Google Apps Script, which records the information in a spreadsheet. The methodology involved

sensor calibration, firmware development for data acquisition and transmission, implementation of reading processing routines, and analysis of initial results, demonstrating the system's feasibility.

Keywords: IoT; Sustainability Management; Monitoring; ESP32; Arduino.

1. Introdução

A conservação do patrimônio cultural vem se tornando cada vez mais complexa diante de transformações ambientais aceleradas. Entre os fatores que ampliam essa vulnerabilidade destacam-se a degradação ambiental e as mudanças climáticas (Sesana *et al*, 2021; IPCC, 2023) e a insuficiência de métodos tradicionais de conservação para responder a riscos emergentes. A proteção dos bens culturais é essencial para a manutenção da memória coletiva, da identidade social e da diversidade cultural, mas esses valores têm sido pressionados por ameaças crescentes associadas ao clima (UNESCO, 2006; Colette, 2007). O ICOMOS (2011) já alertava que os impactos climáticos representam uma preocupação crescente para a salvaguarda do patrimônio, uma vez que eventos extremos, variações térmicas e alterações na umidade podem acelerar processos de deterioração em edificações históricas, conjuntos urbanos e manifestações culturais. Em resposta a esse cenário, o Comitê do Patrimônio Mundial propõe estratégias de gestão climática que incluem, entre outras medidas, ações preventivas baseadas em técnicas de monitorização contínua e mitigação dos efeitos adversos do clima em múltiplas escalas (UNESCO, 2006).

Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) surge como uma solução inovadora, permitindo o monitoramento em tempo real de condições ambientais e estruturais, manutenção preditiva, digitalização de ativos e experiências interativas para visitantes. Sensores inteligentes, conectividade em nuvem e integração com inteligência artificial estão transformando a gestão e proteção de edifícios históricos, museus e artefatos culturais, oferecendo ferramentas para ações mais ágeis e baseadas em dados. Exemplos como a utilização de uma rede densa de sensores para monitorar microclimas e variações ambientais em galerias museológicas (Klein *et al.*, 2017) ou o emprego de dispositivos IoT distribuídos para acompanhar condições ambientais específicas junto a monumentos expostos a riscos climáticos (Mitro, Krommyda e Amditis, 2022) evidenciam o potencial dessas tecnologias para fortalecer estratégias preventivas de conservação e aprimorar a compreensão dos fatores que influenciam a deterioração do patrimônio cultural.

O presente artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a aplicação de um sistema IoT de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar na Igreja de Nossa Senhora da Conceição da Lagoa, em Florianópolis, demonstrando sua contribuição para a preservação do patrimônio cultural, o suporte à gestão ambiental e a geração de dados úteis para planejamento urbano e sustentabilidade. O monitoramento em um ambiente lagunar costeiro, como a Lagoa da Conceição, apresenta condições microclimáticas próprias, com umidade elevada, variação térmica próxima ao corpo d'água e influência de ventos locais que alteram a ventilação natural ao longo do dia. Além dos fatores naturais, há fontes antrópicas sazonais, como fluxo de pessoas e veículos, atividades comerciais e náuticas, que podem modificar a composição do ar em determinados horários e períodos. Essa combinação exige técnicas que privilegiem exposição ao ar ambiente, rastreabilidade temporal e robustez frente a variações de conectividade, sem depender de presença local contínua.

O trabalho também se conecta aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (2015). O ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis se evidencia na dimensão do patrimônio cultural, pois o sistema fornece dados locais sobre condições do ar em edificações históricas, fortalecendo a gestão e a preservação a partir de medidas de adaptação. O ODS 3 – Saúde e Bem-Estar é contemplado ao monitorar CO₂ e estimativas de CO, NO₂ e NH₃, fornecendo alertas operacionais e evidenciando tendências que podem reduzir riscos à saúde. O ODS 13 – Ação contra a Mudança do Clima também é considerado, na medida em que o monitoramento contínuo contribui para a adaptação das edificações e áreas urbanas aos impactos das mudanças climáticas.

2. IoT para monitoramento ambiental e preservação do Patrimônio Cultural

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à interconexão de dispositivos físicos, como sensores, atuadores e microcontroladores, que coletam, transmitem e processam dados automaticamente pela internet, sem intervenção humana direta. Esses dispositivos podem monitorar variáveis ambientais, estruturais e comportamentais em tempo real, tornando possível a gestão inteligente de ambientes e ativos (Atzori; Iera e Morabito, 2017; Laohaviraphap e Waroonkun, 2024; Mansour *et al.*, 2023). Em sistemas de sensores integrados, dispositivos podem variáveis ambientais ou operacionais, convertendo sinais analógicos em dados digitais que podem ser processados localmente ou transmitidos para plataformas remotas, possibilitando a tomada de decisão em tempo real.

A arquitetura de sistemas IoT geralmente é composta por múltiplas camadas complementares. Na base encontram-se os sensores, responsáveis pela aquisição de dados como temperatura, umidade, níveis de poluentes ou consumo energético. Esses sensores são controlados por microcontroladores, que processam os sinais captados, gerenciam a comunicação entre os dispositivos e garantem a consistência dos dados antes de enviá-los a gateways ou diretamente a redes de comunicação, que podem utilizar protocolos diversos como Wi-Fi, LoRa ou NB-IoT. Em seguida, os dados são armazenados e analisados em plataformas de processamento em nuvem, que possibilitam visualização, integração com dashboards, aplicação de algoritmos de análise e geração de alertas. Essa arquitetura modular permite adaptar os sistemas a diferentes escalas e objetivos, desde pequenos projetos acadêmicos até monitoramento urbano abrangente.

Estudos recentes demonstram que sistemas modulares e de baixo custo baseados em microcontroladores e comunicação sem fio são aplicáveis à preservação de sítios culturais, permitindo monitoramento ambiental e de comportamento de visitantes com confiabilidade, baixo consumo de energia e custo reduzido por nó em comparação com sistemas proprietários tradicionais (Tse et al, 2018; Casillo, Colace e Gaeta, 2024; Palomeque-Gonzalez, 2025).

As aplicações de IoT em monitoramento ambiental urbano e em edificações têm se mostrado particularmente promissoras, permitindo acompanhar a qualidade do ar, condições termo-higrométricas, níveis de ruído, consumo energético e presença de poluentes em tempo real. Esses sistemas são capazes de fornecer informações precisas e contínuas, apoiando a

tomada de decisão em políticas de sustentabilidade, na conservação de patrimônios históricos e na melhoria da qualidade de vida urbana. Nesse contexto, soluções de baixo custo têm se destacado frente a sistemas comerciais tradicionais, oferecendo maior flexibilidade de implementação, facilidade de manutenção, escalabilidade e possibilidade de monitoramento em múltiplos pontos simultaneamente. Além disso, a redução de custos associada a dispositivos de baixo custo torna viável a implementação em projetos acadêmicos, comunitários e urbanos com restrições orçamentárias, sem comprometer a confiabilidade ou a densidade de dados necessária para análises robustas.

3. Procedimentos Metodológicos

O desenvolvimento do sistema integrado de monitoramento ambiental na Lagoa da Conceição foi estruturado em três fases principais: (1) seleção da área de estudo e requisitos, (2) desenvolvimento do sistema, e (C) implementação e validação em campo. Essa organização permitiu conduzir o projeto de forma modular, garantindo rastreabilidade desde a aquisição dos dados até o armazenamento e preparação para análises futuras.

3.1 Seleção da área de estudo e requisitos

A edificação escolhida está localizada na Freguesia da Lagoa da Conceição (Florianópolis, Brasil). A Igreja possui tombamento individual a nível municipal, além de pertencer ao Conjunto Histórico da Freguesia da Lagoa da Conceição (IPHAN, 2015), com tombamento definitivo em 2025 (Weissheimer, Cruz e Rosa, 2025). A seleção considerou três critérios: acessibilidade para manutenção periódica; presença de fatores de risco termo-higrométrico; e pertinência patrimonial e integração com pesquisas existentes. A Figura 1 mostra a área de estudo e a edificação de estudo.

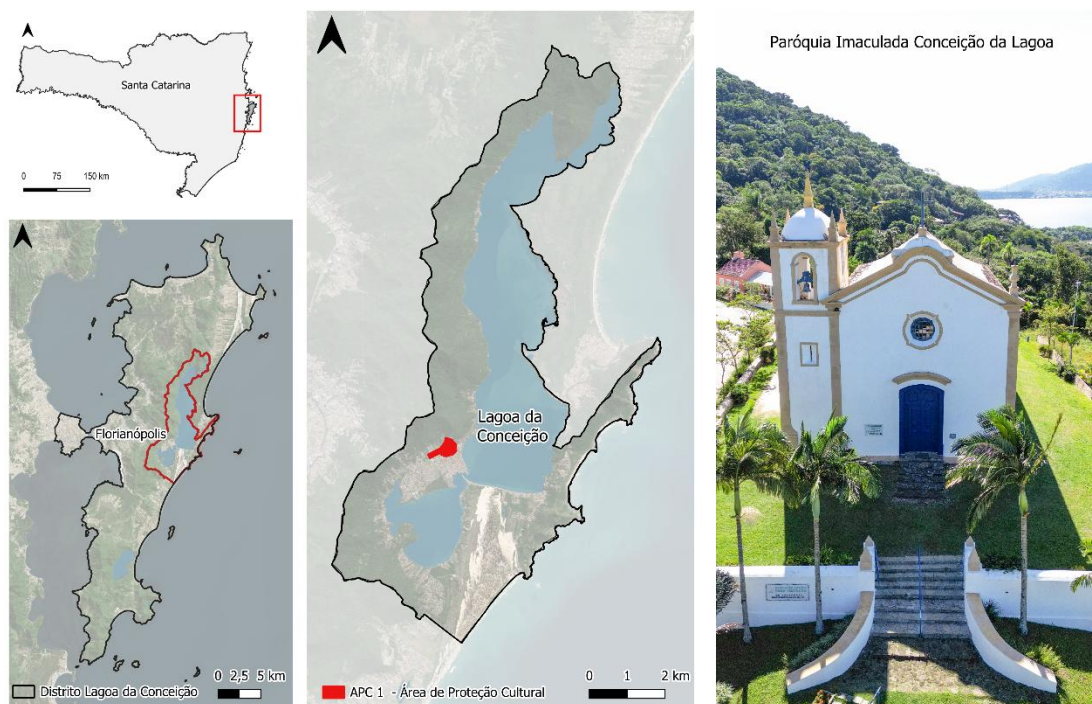


Figura 1: Localização do Estudo de Caso. Fonte: Os autores (2026).

Conforme Engel, Felimberti e Librelotto (2025), por sua localização e implantação encontra-se em área de exposição, podendo sofrer efeitos devido a proximidade com mar, humidade, declividade, entre outros fatores. Além disso, trata-se de uma etapa do projeto USAT – Urban Sustainability Assessment Tool para avaliação da sustentabilidade na Lagoa da Conceição (Librelotto *et al*, 2024), e de trabalhos de mapeamento com fotogrametria e drones da Igreja (Engel, Felimberti e Librelotto, 2025).

Essa fase resultou na definição dos requisitos mínimos do sistema: baixo custo, operação contínua, conectividade remota, registro redundante e medições estáveis de CO₂, temperatura, umidade e gases reativos.

3.2 Desenvolvimento do sistema

O desenvolvimento do sistema integrado de monitoramento ambiental foi organizado de forma a contemplar hardware, firmware e comunicação em nuvem de maneira integrada. O microcontrolador ESP32 foi escolhido por sua conectividade Wi-Fi integrada, baixo consumo energético e ADC de 12 bits, adequado para leitura analógica dos sensores utilizados. Para monitoramento ambiental, foram empregados o SCD30, sensor NDIR para CO₂, temperatura e umidade relativa, e o MiCS-6814, sensor semicondutor capaz de detectar gases reativos como CO, NH₃ e NO₂. A comunicação com o SCD30 ocorre via I²C, enquanto o MiCS-6814 é lido pelos canais analógicos do ESP32, garantindo estabilidade e facilidade de manutenção (Figura 2). A Tabela 1 apresenta os componentes e custos, priorizando baixo custo e ampla disponibilidade comercial.

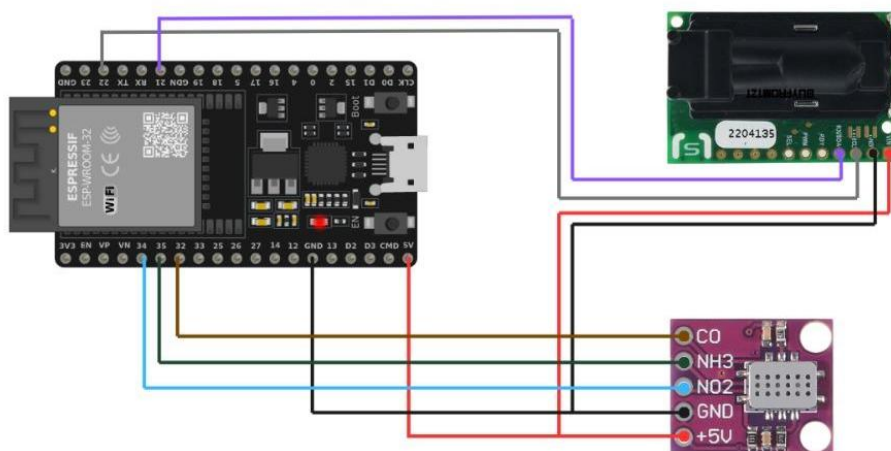


Figura 2: Esquema de conexão dos módulos ao ESP32. Fonte: Os autores (2026).

Tabela 1: Valores dos componentes utilizados

Qtd	Item	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
2	Sensor SCD30	198,00	369,00
2	ESP32 (Micro USD)	40,00	80,00
2	Protoboard 830 pontos	20,00	40,00
40	Jumper	12,00	24,00
2	Fonte 5V/2A + Micro USB	50,00	100,00
2	Mics 6814	300,00	600,00
Total			1240,00

Fonte: Os autores (2026).

O firmware, desenvolvido no ambiente Arduino/ESP-IDF, implementa rotinas periódicas de aquisição e envio de dados. As leituras dos sensores são filtradas e transformadas em médias locais para reduzir ruídos, enquanto a sincronização de horário via NTP assegura coerência temporal. A gestão de rede é realizada com WiFiManager, permitindo alteração de credenciais em campo sem recompilar o código. Para aumentar a resiliência, um buffer offline em SPIFFS armazena leituras quando não há conectividade, enviando os dados automaticamente ao restabelecer a conexão. No caso do MICS-6814, o sinal analógico do ADC é convertido em tensão e em resistência do sensor (R_s), normalizado por R_0 estimado periodicamente pelos percentis do histórico, reduzindo outliers e mantendo a coerência temporal das concentrações de gases.

A transmissão para a nuvem é realizada via HTTP GET para um Web App implementado em Google Apps Script, onde cada pacote enviado inclui timestamp e variáveis medidas. O backend valida os pacotes, elimina duplicidades, registra logs brutos e consolidados e armazena os dados finais em Google Sheets, que oferece versionamento, compartilhamento controlado e disponibilidade em nuvem. Essa arquitetura integrada garante rastreabilidade

completa das medições, manutenção remota eficiente, acesso confiável aos dados e robustez frente a falhas temporárias de comunicação.

3.3 Implementação e Validação em campo

A fase de validação dividiu-se em três camadas: testes de bancada, testes de integração e operação em campo. Nos testes de bancada, verificou-se o funcionamento individual dos subsistemas: comunicação I²C, leituras analógicas, sincronização NTP, estabilidade do ADC e provisão de rede. Os testes de integração avaliaram o fluxo completo do dispositivo até a nuvem, garantindo coerência entre dados brutos, dados processados e políticas de escrita.

Após essa etapa, o sistema foi instalado na área de estudo, assegurando alimentação contínua, posicionamento adequado dos sensores e conectividade mínima. A operação real permitiu observar desempenho, identificar instabilidades típicas de ambientes remotos e implementar ajustes relacionados à redundância de dados, reconexão automática e otimização do ciclo de aquisição.

Os resultados apresentados no artigo referem-se à análise preliminar da arquitetura, comportamento dos sensores e desempenho do fluxo de dados, constituindo a base para as próximas etapas de calibração e integração com modelos da edificação. Ressalta-se que serão mostrados os resultados preliminares, principalmente da arquitetura do sistema. Em etapas seguintes, existem ajustes e melhorias a serem feitos, principalmente com relação a otimização de códigos e correções para a integração dos dados com modelos da edificação.

4. Resultados e Discussão

Os resultados mostram que o protótipo de monitoramento ambiental funcionou bem e forneceu dados confiáveis sobre o ambiente da Igreja da Lagoa da Conceição.

Nos testes iniciais, realizados em bancada e em integração, foi verificado que os sensores funcionavam corretamente: o SCD30 medindo CO₂, temperatura e umidade, e o MiCS-6814 captando gases como CO, NH₃ e NO₂. O sistema registrava os dados em horários corretos e conseguia enviá-los para a nuvem, mesmo quando havia problemas temporários no relógio interno do dispositivo. Isso confirmou que o conjunto de sensores, microcontrolador e envio de dados funcionava de forma estável.

Durante a operação em campo, o sistema manteve a coleta e envio de dados de forma contínua. Foram identificados dois desafios principais: a conexão com a internet era às vezes instável e a caixa que protegia os sensores criava um microambiente que podia influenciar as medições. Para resolver isso, foram feitas algumas melhorias: o sistema passou a permitir reconfiguração da rede em campo (WiFiManager), armazenar temporariamente leituras quando a internet falha (SPIFFS) e o posicionamento dos sensores foi ajustado para garantir ventilação adequada. A Figura 3 mostra o protótipo instalado dentro da Igreja, enquanto a Figura 4 apresenta a instalação externa com sensores e roteador.



Figura 3: Sensores instalados no interior da Igreja. Fonte: Os autores (2026).



Figura 4: Sensores instalados na Torre da Igreja e roteador. Fonte: Os autores (2026).

Com o sistema funcionando de forma mais estável, os dados foram tratados para criar séries consistentes e fáceis de analisar. Foram corrigidos horários, eliminadas leituras inválidas, feitas médias para suavizar pequenas variações e aplicadas conversões para que os valores dos gases fossem interpretáveis. O SPIFFS ajudou a recuperar qualquer leitura que não tivesse sido enviada na hora. A Figura 5 mostra exemplos de como os dados ficaram após o tratamento, evidenciando padrões diários e comportamento esperado das variáveis.

Tempo	Temperatura	Umidade	CO2	CO	NH3	NO2	
26/08/2025 16:58:45	18.74 °C	73.05 %	422.6 ppm	1.345 ppm	1.208 ppm		NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 16:59:46	18.59 °C	72.95 %	429.1 ppm	1.292 ppm	1.132 ppm	1.794 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:03:59	15.25 °C	81.92 %	397.1 ppm	1.302 ppm	1.258 ppm	1.591 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:05:01	15.05 °C	82.75 %	410.6 ppm	1.083 ppm	1.014 ppm	2.216 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:06:02	14.97 °C	83.24 %	417.0 ppm	1.284 ppm	1.285 ppm	1.723 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:07:03	14.91 °C	83.82 %	416.0 ppm	1.028 ppm	1.011 ppm	1.897 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:08:05	14.82 °C	84.52 %	410.4 ppm	1.476 ppm	1.355 ppm	1.515 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:09:06	15.00 °C	84.42 %	422.3 ppm	1.213 ppm	1.098 ppm	1.921 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:10:08	15.03 °C	83.94 %	429.2 ppm	1.090 ppm	1.003 ppm	1.843 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:11:09	14.94 °C	83.80 %	426.1 ppm	1.374 ppm	1.259 ppm	1.843 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:12:10	14.87 °C	83.82 %	424.5 ppm	1.264 ppm	1.340 ppm	1.785 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:13:11	15.25 °C	83.12 %	429.5 ppm	1.047 ppm	0.996 ppm	2.197 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:14:13	14.94 °C	84.40 %	417.8 ppm	1.064 ppm	0.986 ppm	2.179 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:15:14	15.04 °C	84.29 %	424.1 ppm	1.537 ppm	1.498 ppm	1.594 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:16:15	14.82 °C	84.85 %	401.2 ppm	1.074 ppm	0.996 ppm	2.169 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:17:17	14.82 °C	84.82 %	413.7 ppm	1.099 ppm	1.044 ppm	2.205 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:18:18	14.74 °C	84.96 %	416.5 ppm	1.107 ppm	1.048 ppm	1.772 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299
26/08/2025 17:19:19	14.67 °C	86.10 %	419.6 ppm	1.155 ppm	1.111 ppm	2.121 ppm	NO2=1742 Q; NH3=18664 Q; CO=21299

Figura 5: Exemplos de dados com conversão. Fonte: Os autores (2026).

A análise dos dados revelou padrões coerentes com o ambiente: temperatura e umidade apresentaram relações esperadas, o CO₂ variou conforme a ventilação, e os gases medidos pelo MiCS-6814 responderam a mudanças no microambiente, ainda que com pequenos atrasos. Leituras anômalas, como saltos repentinos ou valores muito estáveis por muito tempo, foram identificadas e descartadas, garantindo confiabilidade nas séries finais.

Apesar do bom desempenho, algumas limitações foram observadas: não houve calibração em laboratório com gases padrão, o sensor MiCS-6814 é sensível a temperatura e umidade, o ADC do ESP32 pode ter pequenas variações, e o local da instalação pode afetar as medições. Além disso, a dependência de internet e de serviços externos como Google Apps Script e Sheets pode gerar atrasos ou falhas temporárias. Essas observações apontam oportunidades de melhorias futuras, como calibração formal, mais pontos de medição e ajustes no envio de dados.

5. Considerações Finais

O estudo demonstrou a viabilidade de uma solução IoT de baixo custo para o monitoramento contínuo da qualidade do ar na Lagoa da Conceição. A arquitetura proposta, composta por ESP32 integrado aos sensores SCD30 e MiCS6814, com envio de dados via HTTP e armazenamento no Google Apps Script/Sheets, mostrou-se capaz de coletar, processar e consolidar informações horárias com rastreabilidade e acesso remoto, incluindo contingência para quedas de rede por meio de buffer offline. Esse arranjo permitiu identificar tendências operacionais relacionadas à ventilação e ao microclima, fornecendo subsídios práticos para decisões de manejo ambiental.

Ao mesmo tempo, permanecem limitações relevantes, como a ausência de calibração com gases-padrão, a dependência de parâmetros aproximados na conversão do MiCS6814, a sensibilidade dos sensores a variações de temperatura e umidade, e as restrições de instalação em campo, incluindo a medição em um único ponto e a influência do ambiente imediato. Soma-se a isso a intermitência de internet e energia típica de locais abertos. Por

essas razões, os resultados devem ser interpretados como indicadores de tendência e não como valores absolutos de referência laboratorial.

Como próximos passos, recomenda-se aumentar a robustez e a autonomia do sistema por meio da utilização de módulo 4G para locais sem internet fixa, baterias com modo de economia de energia do ESP32, abrigo ventilado que proteja contra chuva e sol sem comprometer a circulação do ar, e calibração com instrumento de referência. Paralelamente, sugere-se evoluir o backend, implementando envio mais seguro, alertas automáticos e painel de monitoramento, além de avaliar a expansão para múltiplos pontos de coleta, ampliando a representatividade espacial.

Em síntese, a abordagem confirma que é possível estimar a qualidade do ar de forma contínua e remota, mesmo em cenários com infraestrutura limitada. Com os aprimoramentos indicados, o protótipo tem potencial para evoluir para uma plataforma operacional de apoio à preservação ambiental e à sustentabilidade, especialmente em áreas com acesso restrito a internet e energia.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) pelo apoio financeiro à pesquisa Aplicativo USAT (Urban Sustainability Assessment Tool) para Gestão da Sustentabilidade Urbana na Lagoa da Conceição em Florianópolis através do Modelo ESA-Building. Agradecemos também ao Programa PIBIC/CNPq, pelas bolsas de iniciação científica concedidas. Ainda, os autores agradecem o apoio financeiro a partir de bolsa de doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), pela contribuição para o desenvolvimento deste estudo. Por fim, agradecemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. **Ad Hoc Networks**, Amsterdam, v. 56, p. 122-140, mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.12.004>. Acesso em: 12 dez. 2025.

CASILLO, M.; COLACE, F.; GAETA, R. et al. Revolutionizing cultural heritage preservation: an innovative IoT-based framework for protecting historical buildings. **Evol. Intel.**, v. 17, p. 3815–3831, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12065-024-00959-y>.

COLETTE, A. **Case studies on climate change and world heritage**. UNESCO, 2007.

ENGEL, E. R.; LIBRELOTTO, L. I. Cultural heritage and the climate crisis: A literature review. **MIX Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 127–142, 2024. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n4.127-142>.

ICOMOS. International Council on Monuments and Sites. **The Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas**. In: XVII ASSEMBLÉE GENERALE ICOMOS, 2011, Paris. [...]. Paris, 2011.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2023. p. 35–115.

IPHAN/SC. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **As freguesias luso-brasileiras na Região da Grande Florianópolis**. Florianópolis: IPHAN, 2015. v. Dossiê de Tombamento.

KLEIN, L. J. et al. Wireless sensor platform for cultural heritage monitoring and modeling system. **Sensors**, v. 17, n. 9, p. 1998, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17091998>.

LAOHAVIRAPHAP, Neeraparn; WAROONKUN, Tanut. Integrating Artificial Intelligence and the Internet of Things in Cultural Heritage Preservation: A Systematic Review of Risk Management and Environmental Monitoring Strategies. **Buildings**, Basel, v. 14, n. 12, p. 3979, 15 dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14123979>. Acesso em: 12 dez. 2025.

LIBRELOTTO, L. I.; MEIRA ENGEL, E. R.; DA ROSA, M. R.; DA LUZ, E. C.; MACHADO FERROLI, P. C. Integração de escalas para gestão integrada e participativa da sustentabilidade: do bairro ao edifício: from the neighborhood to the building. **Revista Transverso**, v. 1, n. 15, 2024. DOI: 10.36704/transverso.v1i15.9029. Disponível em: <https://revista.uemg.br/transverso/article/view/9029>. Acesso em: 12 dez. 2025.

MANSOUR, Mohammad et al. Internet of Things: A Comprehensive Overview on Protocols, Architectures, Technologies, Simulation Tools, and Future Directions. **Energies**, Basel, v. 16, n. 8, p. 3465, 14 abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16083465>. Acesso em: 12 dez. 2025.

MITRO, N.; KROMMYDA, M.; AMDITIS, A. Smart Tags: IoT sensors for monitoring the micro-climate of cultural heritage monuments. **Applied Sciences**, v. 12, n. 5, p. 2315, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12052315>.

ONU. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 12 set. 2024.

PALOMEQUE-GONZALEZ, J. **A modular, low-cost IoT system for environmental and behavioural monitoring in cultural heritage sites.** 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2508.00849>. Acesso em: 04 nov. 2025.

SESANA, E. et al. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 12, n. 4, 2021.

TSE, R.; TANG, S. K.; AGUIARI, D.; GIUSTO, D.; CHOU, K. S.; PAU, G. Monitoring cultural heritage buildings via low-cost edge computing/sensing platforms: The Biblioteca Joanina de Coimbra case study. **ACM International Conference Proceeding Series**, p. 148–152, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3284869.3284876>.

UNESCO. **Predicting and Managing the Effects of Climate Change on World Heritage.** 2006. Disponível em: <http://whc.unesco.org/document/6670>. Acesso em: 10 set. 2023.

WEISSHEIMER, M. R.; CRUZ, C. F.; ROSA, A. H. da (org.). **Freguesias luso-brasileiras da Grande Florianópolis.** Florianópolis: Iphan, 2025. 60 p. Disponível em: <https://bibliotecadigital.iphan.gov.br/handle/123456789/1154>. Acesso em: 05 dez. 2025.