

# Air-Pure Monitor: Uma Solução IoT de Baixo Custo para Ambientes Internos Saudáveis

Bruna M. O. Silva<sup>1</sup>, Iwens G. S. Junior<sup>1</sup>, Renato F. Bulcão-Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Caixa Postal 74690-900 - Goiânia - GO - Brasil

brunamichelly@ufg.br, iwens@ufg.br, rbulcao@ufg.br

**Abstract.** This paper presents Air-Pure Monitor, a low-cost and easily replicable IoT-based system for monitoring Indoor Air Quality (IAQ) in air-conditioned environments. The device is built upon an ESP32 microcontroller integrated with sensors for temperature, humidity, carbon dioxide ( $CO_2$ ), and total volatile organic compounds (TVOCs). Sensor data is transmitted via MQTT to the ThingSpeak platform, where it is processed, stored, and made available for real-time visualization through a Web application. Experiments were conducted in two real-world indoor scenarios, each with distinct occupancy and ventilation conditions. The results demonstrate the system's responsiveness to variations in air quality parameters and its potential to support preventive environmental management in educational, residential, and corporate settings.

**Resumo.** Este artigo apresenta o Air-Pure Monitor, um sistema IoT de baixo custo e fácil replicação para o monitoramento da Qualidade do Ar Interno (QAI) em ambientes climatizados. O dispositivo utiliza um ESP32 com sensores de temperatura, umidade, dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e compostos orgânicos voláteis totais (COVT), enviando dados via MQTT para a plataforma ThingSpeak, onde são processados e visualizados em tempo real. Experimentos realizados em dois cenários reais, com diferentes condições de ocupação e ventilação, demonstraram a sensibilidade do sistema às variações ambientais. Os dados obtidos reforçam a importância do monitoramento contínuo da QAI como ferramenta de apoio à gestão preventiva em ambientes internos.

## 1. Introdução

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição do ar é um dos principais problemas ambientais e de saúde pública. Estima-se que nove em cada dez pessoas em todo o mundo respiram ar poluído, o que contribui para aproximadamente 7 milhões de mortes prematuras por ano [World Health Organization 2023]. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), em média, as pessoas passam cerca de 90% do tempo em ambientes internos, onde as concentrações de certos poluentes podem ser de 2 a 5 vezes maiores que as externas [U.S. Environmental Protection Agency 2024].

A ausência de ventilação adequada e a falta de monitoramento sistemático nesses ambientes têm favorecido o surgimento de sintomas como irritações, fadiga mental, sonolência e problemas respiratórios. Esses sinais, associados à chamada Síndrome do Edifício Doente (SED) [Silva et al. 2024, Nag 2019], estão frequentemente relacionados

à exposição a contaminantes biológicos (como fungos) e não biológicos (como CO<sub>2</sub> e Compostos Orgânicos Voláteis — COV), ambos inodoros e incolores.

Nesse cenário, ganha destaque o uso de tecnologias baseadas na Internet das Coisas (IoT) [Ashton et al. 2009] como alternativa viável para a detecção e mitigação desses riscos. Este artigo apresenta o *Air-Pure Monitor*, um sistema de monitoramento contínuo da Qualidade do Ar Interno, de baixo custo e fácil replicação. A solução utiliza sensores para coletar dados de temperatura, umidade relativa, concentração de CO<sub>2</sub> e de COV Totais (COVT), transmitindo-os a uma plataforma *middleware* para visualização em uma aplicação Web<sup>1</sup>.

Foram conduzidos experimentos em dois cenários reais, distintos em tamanho, ocupação e condições de climatização, a fim de verificar a sensibilidade do sistema e a variação dos parâmetros monitorados. Em determinadas situações, foram observados valores acima dos limites estabelecidos pela ANVISA [ANV 2003], reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e preventivo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve os fundamentos teóricos; a Seção 4 detalha o desenvolvimento do *Air-Pure Monitor*; os experimentos realizados são descritos na Seção 5; e a Seção 6 apresenta as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

Com a popularização de plataformas acessíveis, como o ESP32 e o NodeMCU, aliadas a plataformas de *middleware* e de visualização em nuvem, como ThingSpeak, FIWARE e Node-RED, tornou-se viável o desenvolvimento de soluções de baixo custo voltadas à análise da qualidade do ar em ambientes internos e externos. Essas soluções variam quanto à arquitetura, sensores utilizados, alcance da rede e tipo de análise aplicada.

Em [Campos et al. 2023], os autores propõem uma arquitetura para o monitoramento da qualidade do ar em um campus universitário baseada em sensores conectados via LoRaWAN e integração com o *middleware* FIWARE<sup>2</sup>. A abordagem foca na interoperabilidade e gerenciamento eficiente dos dados sensoriais em ambientes de maior escala.

O *AirSPEC* [Leite et al. 2021] por sua vez, consiste em um sistema de monitoramento da qualidade do ar baseado em IoT que integra algoritmos de aprendizado de máquina para prever parâmetros ambientais. O sistema coleta dados de sensores públicos e utiliza o Node-RED<sup>3</sup> para processar, visualizar e armazenar essas informações. Embora o artigo não especifique os algoritmos de aprendizado de máquina empregados, destaca-se a capacidade do sistema em realizar previsões temporais e geoespaciais da qualidade do ar. Outra proposta relevante é o *pmSensing* [Silva et al. 2021], que utiliza redes neurais recorrentes (LSTM-RNN) para a previsão de material particulado com base em sensoriamento participativo. Nela, dispositivos de baixo custo enviam dados à nuvem, onde são analisados para prever a concentração de poluentes.

A solução *Enviro-IoT* [Fernandes et al. 2025] concentra-se na calibração de sensores ambientais de baixo custo, garantindo maior precisão nas medições de PM2.5. De

---

<sup>1</sup><https://sites.google.com/view/airpure/pagina-inicial>

<sup>2</sup><https://www.fiware.org/>

<sup>3</sup><https://nodered.org/>

forma complementar, o estudo apresentado em [Pereira and Moreira 2023] propõe uma metodologia de calibração global, com foco em soluções de larga escala, otimizando a implantação de sensores em ambientes urbanos e industriais.

O sistema *Air-Pure Monitor*, proposto neste trabalho, foi desenvolvido com base nos critérios estabelecidos na Resolução RE nº 09 da ANVISA [ANV 2003], e destaca-se por sua proposta de baixo custo, facilidade de implantação e foco em ambientes internos como salas de aula, escritórios e espaços públicos. Um de seus principais diferenciais está na integração com a plataforma ThingSpeak<sup>4</sup>, um serviço em nuvem da *MathWorks* que permite o armazenamento, visualização e análise de dados sensoriais em tempo real, com suporte a *scripts MATLAB* e notificações automatizadas. Essa arquitetura baseada em nuvem elimina a necessidade de servidores locais, tornando o sistema leve, acessível e altamente replicável, ideal para instituições que desejam implementar soluções inteligentes de monitoramento ambiental de forma prática e eficiente.

### **3. Fundamentação Teórica**

A Internet das Coisas é um paradigma da computação distribuída que permite a integração de sensores e dispositivos físicos conectados à internet, capazes de coletar, processar e compartilhar dados em tempo real. No contexto ambiental, essa abordagem tem sido aplicada para monitorar fatores como temperatura, umidade, dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, material particulado (PM) e gases tóxicos.

Em ambientes internos, especialmente os climatizados artificialmente, a ventilação costuma ser limitada, favorecendo o acúmulo de poluentes. Isso pode gerar impactos à saúde, com sintomas como irritações, fadiga e dificuldade de concentração, associados à chamada Síndrome do Edifício Doente (SED) [Silva et al. 2024, Nag 2019]. A poluição pode ter origem tanto em fontes biológicas (fungos, bactérias e vírus) quanto em compostos químicos como CO, CO<sub>2</sub>, amônia (NH<sub>3</sub>) e COVs [Jones 1999, ANV 2003].

Além do desconforto térmico, a má gestão da temperatura e umidade relativa favorece o surgimento de microrganismos e a emissão de substâncias como o formaldeído [Wolkoff 2018, Schirmer et al. 2009]. Umidade abaixo de 35% pode causar irritações sensoriais, enquanto valores excessivos também elevam o risco de contaminação [Wolkoff and Kjærgaard 2007].

#### **3.1. Dióxido de Carbono e COVs**

O dióxido de carbono é um gás incolor e inodoro, amplamente utilizado como indicador de ventilação. Sua concentração em ambientes internos está diretamente relacionada à presença de pessoas e à taxa de renovação do ar [Persily 2015]. A Resolução nº9/2003 da ANVISA estabelece o limite de 1.000 ppm como referência para ambientes climatizados [ANV 2003]. Exposições prolongadas a valores superiores podem afetar o desempenho cognitivo e provocar sintomas como dores de cabeça e fadiga [Du et al. 2020, Vehviläinen et al. 2016].

Já os COVTs são emitidos por materiais como pisos, móveis, tintas e adesivos, evaporando em condições ambientais normais [Mølhav 1991, Mølhav et al. 1997]. A sua liberação é intensificada por altas temperaturas e umidade [Haghigat and De Bellis 1998, Kim et al. 2012]. Entre os compostos mais críticos

---

<sup>4</sup><https://thingspeak.mathworks.com/>

destacam-se o formaldeído ( $CH_2O$ ) e o benzeno ( $C_6H_6$ ), ambos classificados como cancerígenos [Zhang 2018, da Saúde 2020].

A Certificação LEED recomenda que os níveis de COVT em ambientes internos não ultrapassem 500ppb. Quando excedidos, é necessária uma investigação para identificação das fontes poluentes [Council 2014]. A Tabela 1 apresenta os limites de referência utilizados neste trabalho.

**Tabela 1. Limites recomendados para fatores ambientais em ambientes internos**

Fator	Mínimo	Máximo
Temperatura [ $^{\circ}C$ ] <sup>1</sup>	20	28
Umidade Relativa [%] <sup>1</sup>	35	65
COVT [ppb] <sup>2</sup>	–	500
CO <sub>2</sub> [ppm] <sup>1</sup>	400	1000

<sup>1</sup> ANVISA [ANV 2003]    <sup>2</sup> LEED [Council 2014]

#### 4. Desenvolvimento do Sistema *Air-Pure Monitor*

Nesta seção, será apresentada a arquitetura e os principais componentes do sistema *Air-Pure Monitor*, desenvolvido com o objetivo de realizar o monitoramento contínuo da qualidade do ar interno de forma eficiente e acessível.

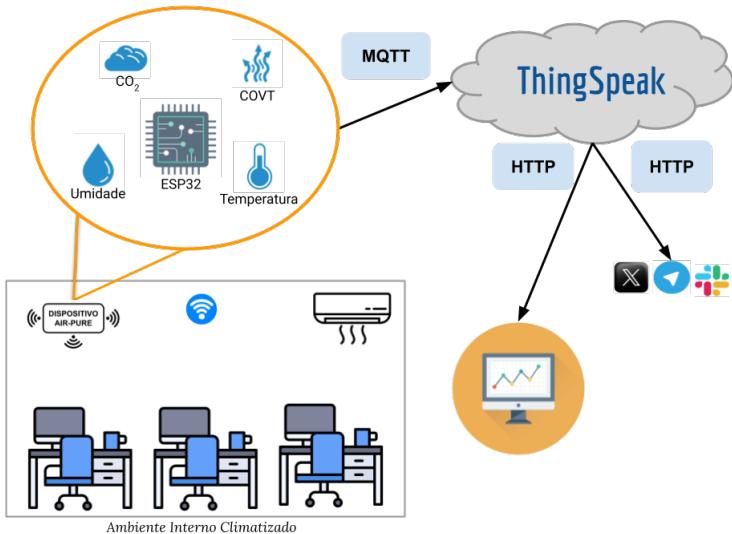
A Fig. 1 apresenta a arquitetura geral do sistema, dividida em três camadas principais que garantem a coleta, transmissão e tratamento dos dados de qualidade do ar interno. No nível de aquisição, o microcontrolador ESP32 executa amostragens periódicas dos sensores DHT22 (temperatura e umidade relativa do ar), MH-Z14A (concentração de CO<sub>2</sub>) e CCS811 (compostos orgânicos voláteis totais). A escolha do ESP32 deve-se ao seu Wi-Fi integrado e baixo consumo de energia.

A camada de transmissão utiliza o protocolo MQTT no modelo *publish–subscribe*. Optou-se por MQTT em vez de HTTP por sua baixa sobrecarga de cabeçalho, assegurando a entrega confiável das mensagens mesmo em redes instáveis. O uso de um *broker* centralizado possibilita a escalabilidade do sistema, permitindo que múltiplos consumidores — desde aplicações móveis até *dashboards* corporativos — recebam os dados em tempo real.

No destino, os dados são recebidos pela *ThingSpeak*, onde cada feed corresponde a um canal de medições contínuas. Além dos painéis de visualização nativos, é aproveitado o recurso de *scripts MATLAB* embutido para calcular automaticamente o Índice de Conforto Térmico a partir dos valores de temperatura e umidade. Essa integração facilita a análise estatística e a criação de alertas personalizados, sem necessidade de infraestrutura adicional. Quando valores críticos são detectados — por exemplo, CO<sub>2</sub> acima de 1000 ppm ou valores fora da faixa de conforto térmico — a aplicação em *ThingSpeak* pode ser implementada para disparar requisições HTTP a serviços de notificação como *Telegram*, *Slack* e *X*.

Por fim, a arquitetura modular do AirPure permite futuras evoluções, como a adoção de TLS/SSL para encriptação das mensagens MQTT, estratégias de *buffer offline* em caso de falhas de conexão e integração com plataformas corporativas de IoT para armazenamento histórico de longo prazo e análises preditivas. Dessa forma, o sistema não

só atende aos requisitos atuais de monitoramento em tempo real, mas também oferece base sólida para extensões em ambientes industriais e comerciais.



**Figura 1. Arquitetura do sistema para monitoramento da qualidade do ar interno.**

#### 4.1. Componentes de Hardware

O *Air-Pure Monitor* foi projetado com foco em baixo custo, facilidade de replicação e viabilidade em ambientes escolares, residenciais e corporativos. A base do sistema é a placa NodeMCU ESP32S, da *Espressif Systems*, um microcontrolador com conectividade *Wi-Fi*, baixo consumo de energia e compatível com aplicações em IoT.

A escolha dos sensores considerou critérios como precisão, custo-benefício, facilidade de integração e capacidade de monitoramento em tempo real:

- **DHT11:** sensor de temperatura e umidade, amplamente utilizado em aplicações básicas por sua simplicidade e eficiência em medições ambientais padrão;
- **CCS811:** sensor digital para COVT, com comunicação via protocolo  $I^2C$  e tempo de resposta rápido, ideal para detectar variações em ambientes internos;
- **MH-Z14A:** sensor de  $CO_2$  que utiliza tecnologia de infravermelho não dispersivo (NDIR), garantindo maior precisão e estabilidade em medições prolongadas.

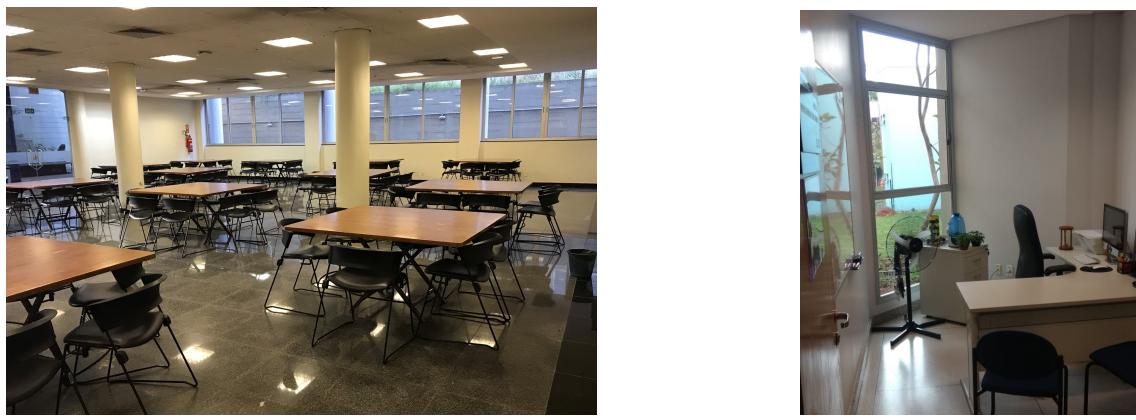
O custo estimado para montagem de uma unidade do dispositivo varia entre R\$210,00 e R\$330,00, a depender da disponibilidade dos componentes no mercado nacional. Essa faixa de preço torna o sistema viável para aplicações em larga escala, sem comprometer a qualidade dos dados coletados.

O *dataset* contendo os dados coletados pelos sensores durante os experimentos encontra-se disponível publicamente no repositório do projeto no GitHub<sup>5</sup>. A disponibilização dos dados visa apoiar a análise, o reuso e a replicação dos resultados por outros pesquisadores e interessados na área de monitoramento ambiental.

<sup>5</sup>Github: <https://github.com/brunamichellyos/Air-Pure-Monitor>

## 5. Experimentos Realizados

O desempenho do *Air-Pure Monitor* foi avaliado experimentalmente com o objetivo de responder à seguinte questão: *é possível observar variações nos fatores monitorados de acordo com a situação do ambiente?* Para isso, foram realizadas análises em dois cenários distintos, escolhidos de modo a representar ambientes com características diferentes de dimensão e localização geográfica. Esses cenários estão ilustrados na Fig. 2.



(a) Sala Multiuso - BSCAN

(b) Sala de Professor

**Figura 2. Cenários utilizados para experimentação**

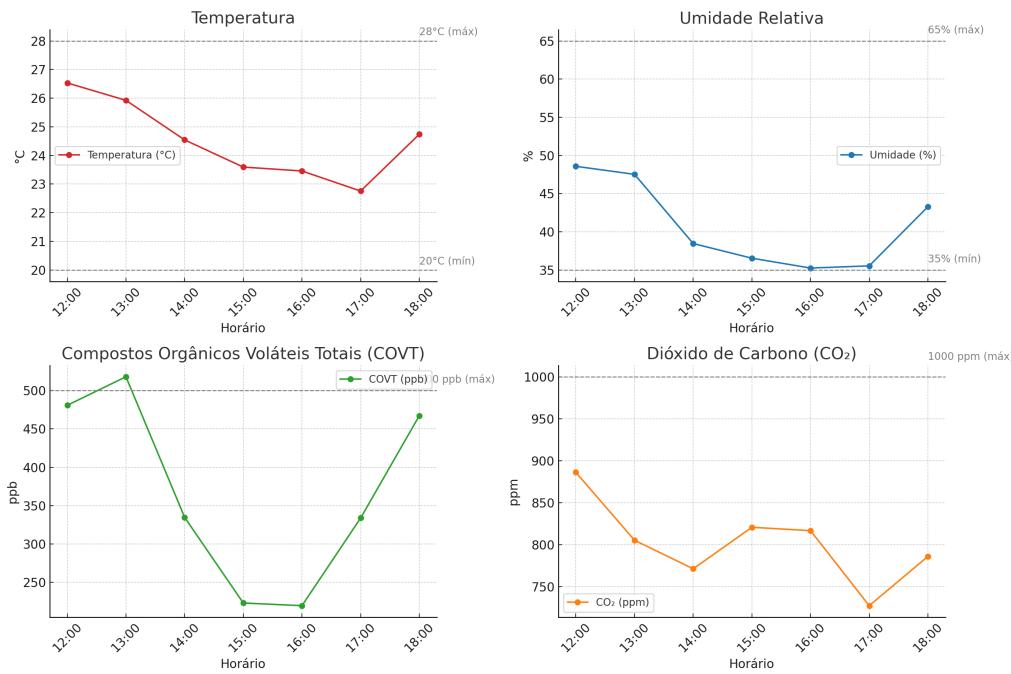
A Fig.2a apresenta a Sala Multiuso da Biblioteca Seccional Campus Colemar Natal e Silva (BSCAN) da Universidade Federal de Goiás (UFG), um ambiente de uso público e coletivo com capacidade para aproximadamente 120 pessoas. O espaço conta com um sistema de climatização artificial por dutos de ar. Já a Fig.2b mostra uma sala de professor do Instituto de Informática, localizada no Campus Samambaia (Campus II) da UFG. Esse ambiente é mais restrito, comportando cerca de 3 pessoas, e utiliza um aparelho de ar condicionado individual, além de um umidificador.

### 5.1. Cenário 1 – Sala Multiuso

O primeiro cenário foi conduzido na Sala Multiuso da BSCAN, um ambiente coletivo com cerca de 216 m<sup>2</sup> e capacidade para até 120 pessoas. O monitoramento foi realizado no dia 28 de junho de 2019, entre 12h e 18h30min, com registros de temperatura, umidade, COVT e CO<sub>2</sub> coletados continuamente. Durante esse período, a quantidade de pessoas presentes foi contabilizada manualmente a cada 20 minutos.

A Fig. 3 apresenta a média horária dos parâmetros monitorados: temperatura, umidade relativa, concentração de COVT e (CO<sub>2</sub>), comparados com os limites de referência - linhas cinza tracejadas - estabelecidos por normas como a Resolução nº9 da ANVISA e a Certificação LEED.

A ocupação da Sala Multiuso variou durante o período de monitoramento, com uma média geral de 28 pessoas. O pico de ocupação ocorreu em dois horários, por volta das 13h, com 35 pessoas presentes e por volta das 15h com 36 pessoas presentes (30% da capacidade total), enquanto o menor número registrado foi de 12 pessoas às 18h, representando apenas 10% da capacidade. Essa variação permitiu observar os impactos da densidade ocupacional nos parâmetros de qualidade do ar monitorados.



**Figura 3. Média dos parâmetros monitorados – Sala Multiuso BSCAN**

Durante o período analisado, os valores de temperatura permaneceram dentro do intervalo recomendado (20–28°C), com variações naturais decorrentes da ocupação e ventilação do ambiente. A umidade relativa do ar apresentou tendência de queda ao longo do tempo, aproximando-se do limite mínimo (35%), o que pode indicar desconforto térmico e ar ressecado.

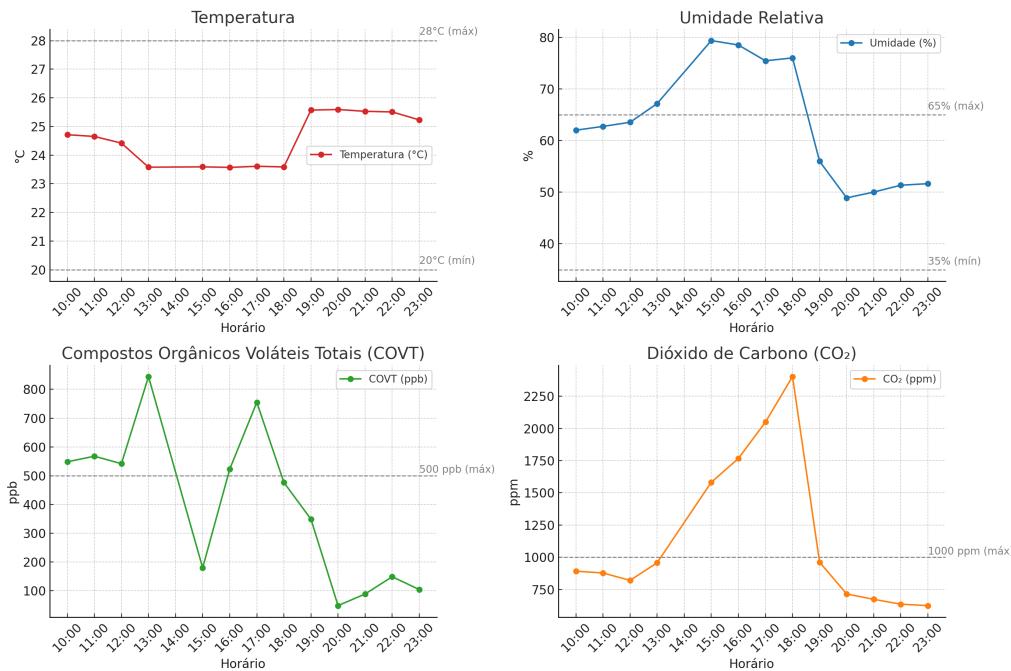
A concentração de COVT ultrapassou o valor limite de 500ppb bem no início do monitoramento, evidenciando a presença de poluentes voláteis possivelmente relacionados à ocupação e materiais presentes na sala. Nesse momento, as janelas estavam abertas e permaneceram assim até 14h. Já os níveis de CO<sub>2</sub> oscilaram dentro da faixa aceitável (inferior a 1000ppm), sem variações significativas mesmo com alteração no número de pessoas, possivelmente devido à circulação de ar por janelas e portas abertas durante parte do experimento.

Esses resultados demonstram que, apesar da limitação no controle de variáveis ambientais, o sistema foi capaz de captar com sensibilidade as flutuações nos parâmetros monitorados, destacando a importância de um monitoramento contínuo para ambientes de grande circulação.

## 5.2. Cenário 2 – Sala do Professor

No segundo cenário, a Sala do Professor (Fig.2b) foi monitorada no dia 02 de julho de 2019, das 10h30min às 20h. Com aproximadamente 12m<sup>2</sup>, este ambiente permitiu melhor controle sobre as variáveis experimentais, como número de ocupantes, funcionamento do ar-condicionado e do umidificador, e condição da porta. A Fig.4 apresenta os resultados médios por hora dos parâmetros monitorados.

Os valores de temperatura mantiveram-se dentro dos limites recomendados (20–28°C), com variações discretas ao longo do experimento. A umidade relativa do ar apre-



**Figura 4. Média dos parâmetros monitorados – Sala de Professor**

sentou flutuações mais acentuadas, permanecendo dentro da faixa aceitável, mas com tendência de queda ao final do dia. As concentrações de COVT ultrapassaram o limite de 500ppb durante a maior parte do tempo, com redução perceptível apenas no período final, em que houve maior ventilação natural. A concentração de CO<sub>2</sub> ultrapassou 1800ppm entre 16h e 19h, intervalo em que a sala permaneceu fechada com ocupação máxima (três pessoas), evidenciando acúmulo de poluentes e baixa renovação do ar. A ventilação natural, promovida pela abertura da porta, demonstrou ser um fator essencial na redução dos níveis de CO<sub>2</sub> e COVT.

Neste cenário, o *Air-Pure Monitor* demonstrou alta sensibilidade em um ambiente controlado, evidenciando com clareza o impacto direto da ventilação e ocupação nos níveis de poluentes. Os resultados reforçam a necessidade de práticas de controle da qualidade do ar, especialmente em ambientes pequenos e fechados, nos quais a rápida deterioração da QAI pode comprometer o conforto e a saúde dos ocupantes.

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Os experimentos demonstraram a sensibilidade dos sensores utilizados no *Air-Pure Monitor*, principalmente no segundo cenário — uma sala de dimensões reduzidas — onde variações nos níveis de CO<sub>2</sub> e COVT se mostraram diretamente relacionadas à ocupação e à ventilação do espaço. Em diversos momentos, os limites de referência foram ultrapassados, indicando a necessidade de ações preventivas. O comportamento de estagnação do ar mesmo após a saída dos ocupantes também reforça a importância da renovação do ar.

Além do experimento apresentado, o dispositivo já foi instalado em outros ambientes climatizados, como laboratórios de análise de alimentos e *datacenters* institucionais. Nessas aplicações, o sistema coletou dados de forma confiável, reforçando sua aplicabilidade prática em cenários com requisitos rigorosos de controle ambiental.

Como trabalhos futuros, propomos a evolução da solução em três frentes principais: Geração de *insights* em tempo real com IA: Implementar algoritmos de aprendizado de máquina para análise preditiva, permitindo que o sistema antecipe comportamentos críticos da QAI e informe os ocupantes em tempo real sobre ações corretivas, como abrir janelas, reduzir ocupação ou ligar o sistema de climatização; Aplicação em ambientes estratégicos: Expandir o uso do *Air-Pure Monitor* em espaços acadêmicos e corporativos, onde a previsibilidade das condições ambientais pode apoiar tanto a saúde quanto o desempenho das atividades realizadas; Melhoria da interface e funcionalidades da aplicação *Web*: Incluir recursos relacionados ao Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), conforme estabelecido pela Lei nº 13.589/2018 [LEI 2018], possibilitando que o sistema funcione também como ferramenta de apoio à gestão de edificações climatizadas.

Adicionalmente, está prevista a realização de uma pesquisa sobre a percepção dos usuários em relação à qualidade do ar dos ambientes que frequentam, buscando correlacionar essas percepções com os dados coletados pelo sistema. A proposta é fortalecer a tomada de decisão baseada em dados e sensibilizar gestores e usuários sobre os impactos da QAI na saúde, bem-estar e produtividade.

## Referências

- (2003). Resolução - re nº 9, de 16 de janeiro de 2003. Estabelece padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados de uso público e coletivo.
- (2018). Lei nº 13.589, de 4 de janeiro de 2018. Dispõe sobre a manutenção de sistemas de climatização de ambientes de uso coletivo para garantir a qualidade do ar interior.
- Ashton, K. et al. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*, 22(7):97–114.
- Campos, A. R., Silva, T. F., and Carvalho, L. R. (2023). Arquitetura de monitoramento de qualidade de ar baseada no lorawan e fiware em um campus universitário. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)*.
- Council, U. G. B. (2014). Leed v4 for building design and construction. *USGBC Inc.*
- da Saúde, M. (2020). Benzeno.
- Du, B., Tandoc, M. C., Mack, M. L., and Siegel, J. A. (2020). Indoor co2 concentrations and cognitive function: A critical review. *Indoor air*.
- Fernandes, M., Torres, R., and Almeida, S. (2025). Enviro-iot: Calibrating low-cost environmental sensors in urban settings. *arXiv preprint arXiv:2502.07596*.
- Haghishat, F. and De Bellis, L. (1998). Material emission rates: literature review, and the impact of indoor air temperature and relative humidity. *Building and Environment*, 33(5):261–277.
- Jones, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric environment*, 33(28):4535–4564.
- Kim, S. S., Kang, D. H., Choi, D. H., Yeo, M. S., Kim, K. W., et al. (2012). Voc emission from building materials in residential buildings with radiant floor heating systems. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(6):1398–1408.

- Leite, J., Oliveira, P., and Campos, C. (2021). Airspec: An iot-empowered air quality monitoring system integrated with a machine learning framework to detect and predict defined air quality parameters. *arXiv preprint arXiv:2111.14125*.
- Mølhave, L. (1991). Volatile organic compounds, indoor air quality and health. *Indoor Air*, 1(4):357–376.
- Mølhave, L., Clausen, G., Berglund, B., De Ceaurriz, J., Kettrup, A., Lindvall, T., Maroni, M., Pickering, A., Rissee, U., Rothweiler, H., et al. (1997). Total volatile organic compounds (tvoc) in indoor air quality investigations. *Indoor Air*, 7(4):225–240.
- Nag, P. K. (2019). Sick building syndrome and other building-related illnesses. In *Office Buildings*, pages 53–103. Springer.
- Pereira, D. and Moreira, T. (2023). A global multi-unit calibration as a method for large scale iot particulate matter monitoring systems deployments. *arXiv preprint arXiv:2310.18118*.
- Persily, A. K. (2015). Indoor carbon dioxide concentrations in ventilation and indoor air quality standards. In *36th AIVC Conference Effective Ventilation in High Performance Buildings*, pages 810–819.
- Schirmer, W. N., Szymanski, M. S. E., and Gauer, M. A. (2009). Qualidade do ar interno em ambientes climatizados—verificação dos parametros físicos e concentração de dióxido de carbono em agência bancária. *Tecno-Lógica*, 13(1):41–45.
- Silva, A., Rocha, F., and Gomes, L. (2021). pmsensing: A participatory sensing network for predictive monitoring of particulate matter. *arXiv preprint arXiv:2111.11441*.
- Silva, L. M., Almeida, J. R., and Souza, P. F. (2024). Síndrome do edifício doente para trabalhadores de saúde: uma matriz teórica fundamentada nos dados. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 17(1):1–15. Acesso em: 21 mar. 2025.
- U.S. Environmental Protection Agency (2024). Indoor air quality. Acesso em: 21 mar. 2025.
- Vehviläinen, T., Lindholm, H., Rintamäki, H., Pääkkönen, R., Hirvonen, A., Niemi, O., and Vinha, J. (2016). High indoor co<sub>2</sub> concentrations in an office environment increases the transcutaneous co<sub>2</sub> level and sleepiness during cognitive work. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 13(1):19–29.
- Wolkoff, P. (2018). Indoor air humidity, air quality, and health—an overview. *International journal of hygiene and environmental health*, 221(3):376–390.
- Wolkoff, P. and Kjærgaard, S. K. (2007). The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment international*, 33(6):850–857.
- World Health Organization (2023). Ambient (outdoor) air pollution. Acesso em: 21 mar. 2025.
- Zhang, L. (2018). *Formaldehyde: Exposure, Toxicity and Health Effects*, volume 37. Royal Society of Chemistry.