

AR LIMPO, MENTES BRILHANTES – A QUALIDADE DO AR E SUSTENTABILIDADE NA MINHA ESCOLA

Equipa técnica:

Agrupamento de Escolas Eugénio de Andrade

Autores: 9.º B - Arilton Emiliano, Francisco Matos, Gabriel Paula, Guiomara Mavitidi, João Dias, Kauan Silva, Lara Monteiro, Lara Oliveira, Lucas Luz, Maria Gonçalves, Mariana Rocha, Martim Afonso, Matthew Marzzan, Miguel Fonseca, Nuria Correia, Rita Candjimbi, Russel Latifo, Santiago Ventura, Tiago Santos – Escola Básica Eugénio de Andrade

Professores responsáveis: Ana Monteiro, Anabela Mota, António Carvalho

Escola Superior de Saúde do Politécnico do Porto (E2S | P.Porto) – Área Técnico-Científica de Saúde Ambiental

Orientação: Andreia Rebelo, Cristiana Ramos, Liliana Almeida, Manuela V. Silva e Francisca Nogueira, Inês Ribeiro, Rita Martins



P.PORTO

ESCOLA
SUPERIOR
DE SAÚDE



INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece a poluição atmosférica como um dos principais riscos ambientais à saúde pública, com impacto na Qualidade do Ar Interior (QAI) nos Edifícios, nomeadamente nas suas características químicas, físicas e biológicas.

Nas escolas uma boa QAI é importante para:

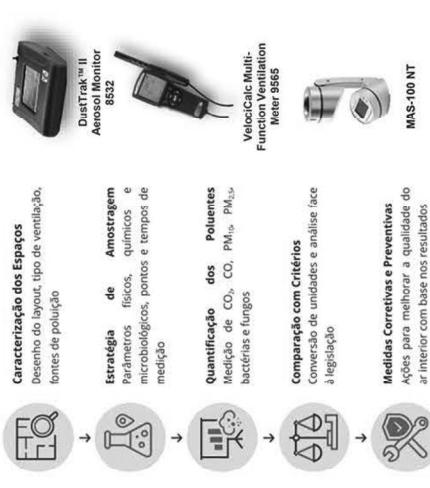
- ✓ Reduzir doenças respiratórias;
- ✓ Criar ambientes mais confortáveis, permitindo maior aprendizagem;
- ✓ Reduzir a fadiga mental e melhorar o desempenho cognitivo.

Assim, a quantificação de poluentes do ar é essencial para a definição e aplicação de medidas capazes de promover uma boa QAI nas escolas, diminuindo o impacto ambiental e promovendo a sustentabilidade.

OBJETIVOS

- ✓ Compreender a importância da QAI na escola;
- ✓ Avaliar a QAI em diferentes espaços da escola;
- ✓ Promover a implementação de medidas que contribuam para uma melhor QAI e sustentabilidade do edifício escolar

METODOLOGIA



ANÁLISE DOS RESULTADOS

PARTÍCULAS PM10 e PM2.5

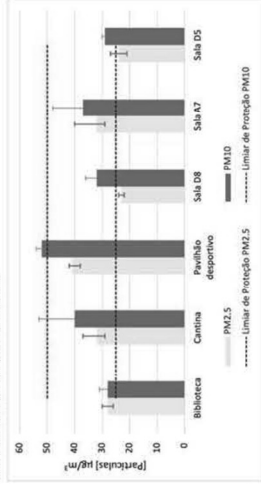


Figura 1. Concentração de partículas PM10 e PM2.5 (µg/m³) nos locais estudados. As colunas representam a média e as barras azuis representam o valor máximo e mínimo obtido. Limites de proteção de acordo com a Portaria 138-G/2021.

- Concentração média de PM10 (28 - 52 µg/m³) abaixo do limiar de proteção (50 µg/m³), e concentração média de PM2.5 (23 - 41 µg/m³) ligeiramente acima do limiar de proteção (25 µg/m³) em 4 dos 6 locais estudados (Figura 1). O tráfego automóvel próximo à escola pode justificar estes resultados².
- Concentração média de PM2.5 (23 - 41 µg/m³) ligeiramente acima do limiar de proteção (25 µg/m³) em 4 dos 6 locais estudados (Figura 1). O tráfego automóvel próximo à escola pode justificar estes resultados².

DIOXÍDEO DE CARBONO (CO₂) E MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

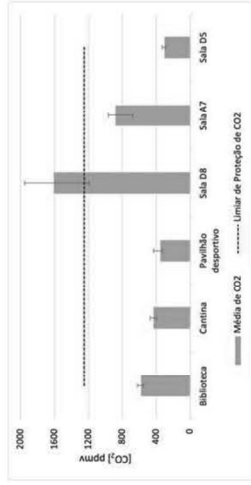


Figura 2. Concentração de CO₂ (ppmv) nos locais estudados. As colunas representam a concentração média e as barras azuis representam o valor máximo e mínimo obtido. Limites de proteção de acordo com a Portaria 138-G/2021.

- Concentração média de CO₂ (302 - 1610 ppmv) abaixo do limiar de proteção (1250 ppmv), exceto na sala D8 (Figura 2). Factores como a taxa de ocupação, as atividades realizadas e o tipo de ventilação podem justificar a maior concentração de CO₂ nesta sala.
- Concentração média de CO (0 - 0,5 ppmv) conforme o valor legal (9 ppmv)¹.

TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA

Tabela 1. Condições ambientais e concentração de microrganismos nos espaços estudados.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS		CONCENTRAÇÃO DE MICRORGANISMOS	
	Temperatura média: 16,7 °C 14,5 °C (Cantina) – 19,9 °C (Sala A7)	Bactérias (UFC/m³)	Fungos (UFC/m³)
		Ar Interior: • Cantina: 342 • Biblioteca: 180	Ar Interior: • Cantina: 213 • Biblioteca: 108
		Ar Exterior: • Cantina: 87 • Biblioteca: 100	Ar Exterior: • Cantina: 95 • Biblioteca: 128
	Humidade relativa média: 56,3% 48,3% (Sala D8) – 68,6% (Pav. Desp.)		

- Temperatura (T°C) média (Tabela 1) ligeiramente abaixo do valor recomendado para salas de aula (20°C a 24°C, na estação de aquecimento/inverno)³.
- Humidade Relativa (HR%) média (Tabela 1) dentro dos valores recomendados (30 - 70%)³.

CONCENTRAÇÃO DE MICRORGANISMOS

- Concentração de bactérias na cantina e biblioteca (Tabela 1) dentro das condições de referência⁴.
- Maior concentração de fungos na cantina comparativamente ao ar exterior (Tabela 1).
- Identificação ao microscópio de fungos do género *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. e bactérias do tipo cocos de gram positivo (Figura 3).



Figura 3. Caracterização microbiológica do ar. Contagem de bactérias em meio de cultura PCA + cloranfenicol (A), identificação de fungos (B) e bactérias (C) ao microscópio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Garantir uma boa QAI nas escolas é essencial para proteger e promover a saúde, especialmente de crianças e jovens, contribuindo para o seu bem-estar e desenvolvimento saudável.

Algumas medidas que podem ajudar a melhorar a QAI no espaço escolar incluem^{1,5}:

VENTILAÇÃO

- Garantir uma correta renovação do ar, promovendo a ventilação dos espaços e um ambiente térmico confortável.

LIMPEZA E MANUTENÇÃO

- Manter os espaços limpos e organizados.
- Utilizar materiais com baixa emissão de poluentes.
- Garantir a manutenção periódica dos espaços, equipamentos, mobiliário e sistemas de ventilação.

FORMAÇÃO

- Promover o conhecimento e percepção da comunidade escolar sobre a importância da QAI e envolver a mesma na definição de ações que permitam a sua melhoria

MONITORIZAÇÃO

- Monitorizar a longo prazo parâmetros com impacto na QAI e identificar fontes de poluição associadas.
- Aumentar as redes de medição de qualidade do ar exterior, nomeadamente próximo a escolas.

SUSTENTABILIDADE

- Utilizar modelos de construção passiva (menos consumo energético, mais conforto) na (re)construção/adaptação dos edifícios.

Referências Bibliográficas

1. Portaria n.º 138-G/2021, de 7 de dezembro.
2. Madureira et al. (2015). *Indoor Air*. <https://doi.org/10.1111/ina.12237>
3. EN 16798-1:2019 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings.
4. Sadrizadeh et al. (2022). *J. Build. Eng.* 57. <https://doi.org/10.1016/j.jbe.2022.104908>
5. Branco et al. (2024). *Environ. Res.* 281. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119713>

Ar Limpo, Mentas brilhantes – A Qualidade do Ar e Sustentabilidade na Minha Escola

Arlton Emiliano¹, Francisco Matos¹, Gabriel Paula¹, Guiomara Maviti¹, João Dias¹, Kauan Silva¹, Lara Monteiro¹, Lara Oliveira¹, Lucas Luz¹, Maria Gonçalves¹, Mariana Rocha¹, Martim Afonso¹, Matthew Marzzan¹, Miguel Fonseca¹, Nuria Correia¹, Rita Candjimb¹, Russel Latifo¹, Santiago Ventura¹, Tiago Santos¹, Ana Monteiro² (professora), Anabela Mota² (professora), António Carvalho² (professor), Francisca Nogueira², Inês Ribeiro², Rita Martins², Andreia Rebelo³, Cristiana Ramos³, Liliana Almeida³, Manuela V. Silva³

¹Agrupamento de Escolas Eugénio de Andrade

²Monitor de Ciência da E2S I P. Porto

³Investigador da E2S I P. Porto

Resumo

A Qualidade do Ar Interior (QAI) é determinante para a saúde e bem-estar, sobretudo de crianças e jovens, sendo as escolas locais estratégicos para a sua avaliação e promoção. Este estudo, desenvolvido por alunos do 9.ºB da Escola Básica Eugénio de Andrade (Porto, 2024/2025), teve como objetivo avaliar a QAI em seis espaços (três salas de aula, cantina, biblioteca e pavilhão desportivo), através da monitorização de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. No geral, os resultados encontravam-se em conformidade com a legislação, embora os níveis de PM_{2.5} se encontrassem ligeiramente acima do recomendado em alguns espaços. Este projeto evidenciou a importância de envolver a comunidade escolar na promoção de ambientes saudáveis e sustentáveis e na adoção de medidas preventivas e corretivas para melhorar a QAI.

Palavras-chave:

Qualidade do Ar Interior, Escolas, Monitorização, Sustentabilidade

Introdução

O ar constitui um elemento essencial à vida, sendo a sua qualidade um fator imprescindível para a proteção da saúde humana e para a promoção do bem-estar. Em particular, a Qualidade do Ar Interior (QAI) tem assumido uma relevância crescente no contexto da saúde pública, à medida que se reconhece que os ambientes interiores podem conter concentrações de poluentes significativamente superiores às do ar exterior. A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece a poluição atmosférica como um dos principais riscos ambientais para a saúde humana, alertando para os seus impactos tanto em ambientes exteriores como interiores ^[1]. Os espaços interiores, como habitações, locais de trabalho e estabelecimentos de ensino, são particularmente suscetíveis à acumulação de poluentes provenientes de fontes internas (por exemplo, materiais de construção, equipamentos e atividades humanas) e externas (como o tráfego



rodoviário ou emissões industriais). A ventilação inadequada agrava a concentração destes contaminantes, comprometendo a qualidade do ar ^[2]. Assim, a QAI resulta da interação complexa entre fatores físicos, químicos e biológicos, cuja monitorização é essencial para a salvaguarda da saúde humana.

No contexto escolar, a importância da QAI adquire particular relevância, não só pelo elevado tempo de permanência dos alunos nas instalações, mas também pela vulnerabilidade acrescida das crianças aos efeitos da poluição do ar. Durante a infância, o sistema respiratório e imunitário encontra-se ainda em desenvolvimento, tornando esta população mais suscetível a doenças respiratórias, alergias e outros problemas de saúde associados à exposição a contaminantes atmosféricos. Para além dos impactos na saúde, uma QAI inadequada nas escolas pode comprometer a capacidade de concentração, o desempenho cognitivo e o bem-estar geral dos alunos, afetando negativamente o processo de ensino-aprendizagem ^[3].

Por conseguinte, assegurar uma boa QAI em ambientes escolares assume-se como uma prioridade estratégica com implicações diretas na promoção da saúde pública infantil, na melhoria das condições pedagógicas e na redução do absentismo escolar. A monitorização e quantificação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos no ar interior das escolas, conforme estabelecido na legislação nacional (Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, e Portaria n.º 138-G/2021, de 1 de julho) ^[4,5], constituem ferramentas essenciais para a caracterização do risco ambiental, permitindo a adoção de medidas de controlo eficazes. Estas ações devem integrar-se numa abordagem mais ampla da sustentabilidade, promovendo escolas saudáveis, resilientes e energeticamente eficientes. O presente estudo teve como principais objetivos: (i) compreender a relevância da QAI nos estabelecimentos de ensino; (ii) avaliar a QAI em diferentes espaços da escola em análise; e (iii) fomentar a implementação de medidas que contribuam para a melhoria da QAI e para a sustentabilidade do edifício escolar.



Metodologia

Materiais e Métodos

Seleção dos Locais de Amostragem

As medições da qualidade do ar interior e exterior foram realizadas na Escola Básica Eugénio de Andrade, sede do Agrupamento de Escolas Eugénio de Andrade, Rua Augusto Lessa, Porto, Portugal. A seleção das salas de aula baseou-se em critérios como a densidade de ocupação, a utilização semanal contínua pela mesma turma e a existência de queixas relacionadas com a qualidade do ar. No total, foram avaliados seis espaços interiores: biblioteca, cantina, pavilhão desportivo e três salas de aula. Para cada espaço interior, foi também efetuada uma medição no exterior correspondente. As campanhas de amostragem decorreram em visitas distintas, entre dezembro de 2024 e março de 2025 (época de inverno).

Caracterização dos Espaços e Identificação de Fontes de Poluição

Em cada local foi aplicado um questionário estruturado para recolha de dados sobre o ambiente exterior, características do edifício (tipo de construção, antiguidade, dimensão, número de pisos), níveis de ocupação, materiais de acabamento, sistemas de aquecimento e ventilação, problemas estruturais visíveis ou reportados e potenciais fontes de poluição interior. Para cada sala de aula, foram registadas informações específicas como a área útil, estado de conservação de pavimentos, paredes e tetos, presença e estado das janelas, materiais utilizados (tintas, colas, etc.), rotinas de limpeza e manutenção, materiais do mobiliário e presença de quadros de giz, fotocopiadoras ou plantas.

Amostragem e Análise da QAI

A amostragem incluiu medições de $PM_{2,5}$, PM_{10} , dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), temperatura, humidade relativa, bactérias e fungos em suspensão, de acordo com a Portaria n.º 138-G/2021, de 1 de julho ^[5]. As medições foram realizadas durante o funcionamento normal da escola, em condições representativas de ocupação e utilização.

Os equipamentos foram posicionados em superfícies planas, a uma altura entre 1,0 e 1,5 metros, de forma a simular a zona respiratória das crianças do 2.º e 3.º ciclos. Os pontos de medição foram colocados a, pelo menos, 1 metro de distância de paredes, portas ou fontes de calor.

As medições dos parâmetros físico-químicos foram realizadas durante um período de 30 minutos, conforme definido na referida portaria para a avaliação anual simplificada. As concentrações de $PM_{2,5}$ e PM_{10} foram determinadas com o equipamento DustTrak™ II Aerosol Monitor (modelo 8532, TSI, Inc.), que utiliza fotometria a laser baseada na dispersão da luz. Este equipamento funciona com um caudal de 3,0 L/min através de uma bomba de diafragma interna. Os níveis de CO_2 , CO, temperatura e humidade relativa foram medidos simultaneamente com o equipamento VelociCalc® Air Velocity Meter (modelo 9535, TSI, Inc.), que integra sensores infravermelhos não dispersivos para CO_2 , sensores eletroquímicos para CO, termístores para temperatura e sensores capacitivos para humidade. Os dados foram registados com intervalos de 1 minuto. Todos os equipamentos foram calibrados anualmente, de acordo com as especificações do fabricante.

As bactérias e fungos em suspensão foram recolhidos utilizando o sistema MAS-100® Microbial Air Monitoring System (MERCK, Alemanha), conforme a norma EN 13098:2019 ^[6]. Foram utilizados os meios de cultura *Plate Count Agar* com 0,25% de cicloheximida (bactérias) e *Malt Extract Agar* com 1% de estreptomicina (fungos). O ar foi aspirado a um caudal de 100 L/min, com recolha de volumes duplicados de 250 L no interior e 500 L no exterior. Em cada dia de amostragem, foram transportadas placas de controlo (em branco) para o campo, uma por meio de cultura. Após a recolha, as placas foram transportadas para o laboratório em mala térmica para posterior incubação.

A quantificação foi efetuada por contagem visual após incubação das amostras: para bactérias, a 37 ± 1 °C durante 48 ± 3 horas; e para fungos, a 25 ± 3 °C durante 72 ± 3 horas, conforme especificado na EN 13098:2019 ^[6].



Identificação de Microrganismos

Após incubação, as colónias bacterianas e fúngicas foram diferenciadas morfológicamente com base em características como cor, textura, forma e dimensão. Para identificação precisa, colónias representativas de cada morfotipo foram subcultivadas em meios frescos para garantir a pureza.

As bactérias isoladas foram submetidas a coloração de Gram e a testes bioquímicos convencionais (ex.: catalase, oxidase). Os fungos foram identificados com base na morfologia macroscópica e microscópica. Pequenas porções das colónias fúngicas foram coradas com azul de lactofenol ou montadas em preparação fresca simples e observadas ao microscópio ótico, permitindo a análise da estrutura dos esporos, hifas e outras características morfológicas. A identificação foi realizada com base em chaves taxonómicas de referência.

Todos os procedimentos microbiológicos foram conduzidos em condições assépticas para prevenção de contaminações cruzadas.

Análise Estatística

A análise descritiva dos resultados obtidos foi efetuada com recurso ao *software* Microsoft Excel. Para cada parâmetro físico-químico avaliado no ar dos espaços interiores e também no ar exterior foram calculadas medidas estatísticas como a média, desvio padrão, mediana e valor mínimo e máximo.

Resultados

Características dos espaços estudados

A Escola Básica Eugénio de Andrade, sede do Agrupamento de Escolas Eugénio de Andrade, está situada na freguesia de Paranhos, na cidade do Porto. Fundada em 1979, a escola apresenta um edifício com mais de 40 anos, composto por 4 blocos independentes (A, B, C, D), maioritariamente com salas de aula, todos de piso térreo, um edifício principal e um pavilhão ginásio desportivo.

De forma geral, os espaços estudados apresentam pavimento em madeira ou tijoleira (a cantina), teto falso em placas de gesso cartonado, e janelas com diferentes orientações solares, consoante a localização no edifício, equipadas com estores *blackout* ou de alumínio (minoritariamente). As salas de aula dispunham ainda de postigos, floreiras e portas de acesso ao interior e ao exterior do edifício. À exceção da sala A7, que foi sujeita a obras de requalificação, nenhum dos espaços estudados dispunha de sistema de ventilação mecânica. Os espaços eram limpos diariamente, especialmente durante e após o seu período de utilização.

Parâmetros de QAI

Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos avaliados, quer no ar interior dos espaços quer no ar exterior, encontram-se discriminados na Tabela 1. De uma forma geral, os locais estudados encontram-se em conformidade com os valores de referência estabelecidos na Portaria 138-G/2021 de 1 de julho ^[6]. De seguida serão analisados individualmente cada parâmetro avaliado.



Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos avaliados.

AR INTERIOR			
	Média (d.p)	Mediana (P25-P75)	Mín-Máx.
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	36,3 (9,0)	34,5 (29,8-39,3)	28-52
PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30 (6,6)	30 (25-32)	23-41
CO₂ (ppmv)	693,7 (495,3)	506,5 (372,8-808,3)	302-1610
CO (ppmv)	0,1 (0,2)	0 (0)	0-0,5
Temperatura (°C)	16,7 (2,2)	16 (15,1-18,1)	14,5-19,9
Humidade Relativa (%)	56,3 (8,8)	53,3 (49,4– 63,1)	48,3-68,6
AR EXTERIOR			
	Média (d.p)	Mediana (P25-P75)	Mín-Máx.
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40,5 (18,7)	43 (26,5-55,8)	16-60
PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	38,8 (20,8)	31 (23,5-56,5)	20-65
CO₂ (ppmv)	300 (11,8)	298,5 (290-308,5)	290-313
CO (ppmv)	0,1 (0,1)	0 (0-0,1)	0,01– 0,2
Temperatura (°C)	15,3 (1,7)	14,7 (14,1-15,9)	14,1-17,8
Humidade Relativa (%)	39,8 (9,6)	42,2 (34,6-47,4)	27,4-47,4



Partículas em suspensão (PM10 e PM2.5)

A concentração média de PM₁₀ nos espaços estudados foi de 36,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor mais baixo foi registado na Biblioteca (28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e o mais elevado no pavilhão desportivo (52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), situando-se, na maioria dos casos, abaixo do limiar de proteção de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 1), conforme estabelecido na Portaria 138-G/2021. Embora a concentração de PM₁₀ no pavilhão desportivo ultrapassasse ligeiramente o valor de referência, encontra-se dentro da margem de tolerância prevista na Portaria 138-G/2021 [alínea c), do n.º 1 do artigo 4.º], uma vez que se trata de um edifício sem sistema mecânico de ventilação.

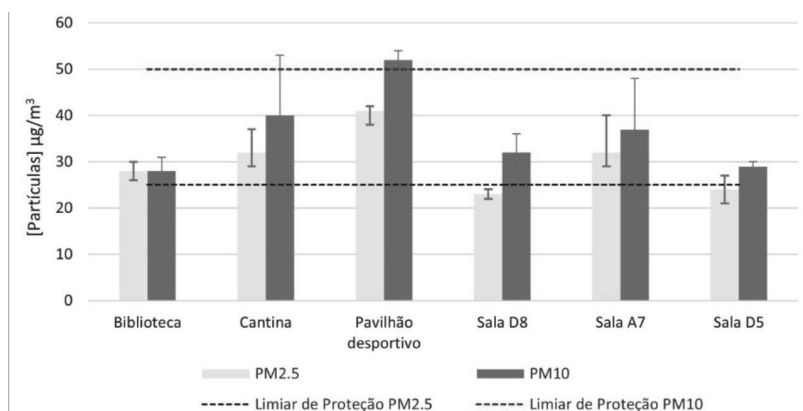


Figura 1. Concentração de partículas PM₁₀ e PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos locais estudados. As colunas representam a concentração média e as barras de erro o valor máximo e mínimo obtido. Limiares de proteção de acordo com a Portaria 138-G/2021.

Relativamente à concentração de $PM_{2.5}$ nos espaços estudados, registou-se um valor médio de $30 \mu g/m^3$. A menor concentração foi observada na sala D8 ($23 \mu g/m^3$) e a mais elevada no pavilhão desportivo ($41 \mu g/m^3$). Em quatro dos seis locais estudados (biblioteca, cantina, pavilhão desportivo e sala A7) os níveis de $PM_{2.5}$ ultrapassaram ligeiramente o limiar de proteção de $25 \mu g/m^3$ (Figura 1). À exceção da sala A7, todos estes espaços não dispõem de sistema mecânico de ventilação, pelo que os valores registados se enquadram na margem de tolerância prevista na Portaria 138-G/2021 [alínea c), do n.º1 do artigo 4.º].

Dióxido de Carbono (CO₂) e Monóxido de Carbono (CO)

A concentração média de CO₂ nos espaços estudados foi de 694 ppmv. O valor mais baixo foi registado na sala D5 (302 ppmv) e o mais elevado na sala D8 (1610 ppmv). Com exceção da sala D8, todos os espaços apresentaram concentrações inferiores ao limiar de proteção de 1250 ppmv (Figura 2). Contudo, uma vez que a sala D8 não dispõe de sistema mecânico de ventilação, a concentração observada enquadra-se na margem de tolerância prevista na Portaria 138-G/2021 [alínea c), do n.º1 do artigo 4.º].

Quanto à concentração de CO, o valor médio registado foi de 0,1 ppmv, tendo-se verificado o valor máximo na sala A7 (0,5 ppmv). Nos restantes espaços o valor foi nulo, encontrando-se todos em conformidade com o valor de referência (9 ppmv).

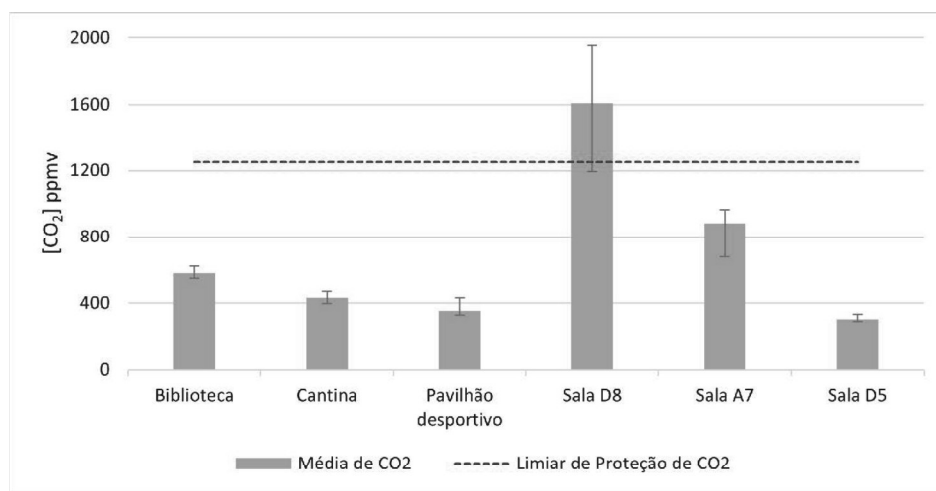


Figura 2. Concentração de CO₂ (ppmv) nos locais estudados. As colunas representam a concentração média e as barras de erro o valor máximo e mínimo obtido. Limiares de proteção de acordo com a Portaria 138-G/2021.

Temperatura e Humidade Relativa

A temperatura média registada nos espaços foi de 16,7°C, com valores a variar entre 14,5°C (na cantina) e 19,9°C (na sala A7). Embora não existam limites legais definidos para a temperatura em salas de aula, a comparação dos valores obtidos com a recomendações aplicáveis a estes espaços revela que se encontram ligeiramente abaixo do intervalo sugerido para o período de aquecimento/inverno (20°C a 24°C), de acordo com o estabelecido pela norma europeia EN 16798-1:2019 [7], que define os parâmetros

do ambiente interior para a conceção de edifícios e para a avaliação do desempenho energético.

Relativamente à humidade relativa, registou-se um valor médio de 56,3%, sendo o valor mais baixo registado na sala D8 (48,8) e o mais alto no pavilhão desportivo (68,6%). Em todos os espaços estudados, os níveis de humidade encontravam-se dentro da gama de valores recomendada (30 a 70%), segundo a mesma norma europeia.

Bactérias e Fungos

A determinação da concentração de bactérias e fungos no ar interior foi realizada apenas na biblioteca e na cantina, por serem espaços frequentados por um maior número de pessoas. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração média de bactérias e fungos (UFC/m³) no ar da cantina e biblioteca.

	Bactérias (UFC/m ³)		Fungos (UFC/m ³)	
	Ar Interior	Ar Exterior	Ar Interior	Ar Exterior
Biblioteca	180	100	108	128
Cantina	342	87	213	95

Relativamente à concentração de bactérias, os valores registados estavam dentro das condições de referência definidas na Portaria 138-G/2021, ou seja, em nenhum dos espaços estudados a concentração de bactérias totais no ar interior excedeu a concentração registada no ar exterior, acrescida de 350 UFC/m³. A utilização de técnicas de microscopia permitiu observar, maioritariamente, bactérias do tipo cocos de Gram-positivos (Figura 3 A. e C.).

No que diz respeito à presença de fungos, verificou-se uma concentração mais elevada no ar interior da cantina em comparação com o ar exterior (Tabela 2). A observação ao microscópio permitiu identificar fungos dos géneros *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. (Figura 3 B.).

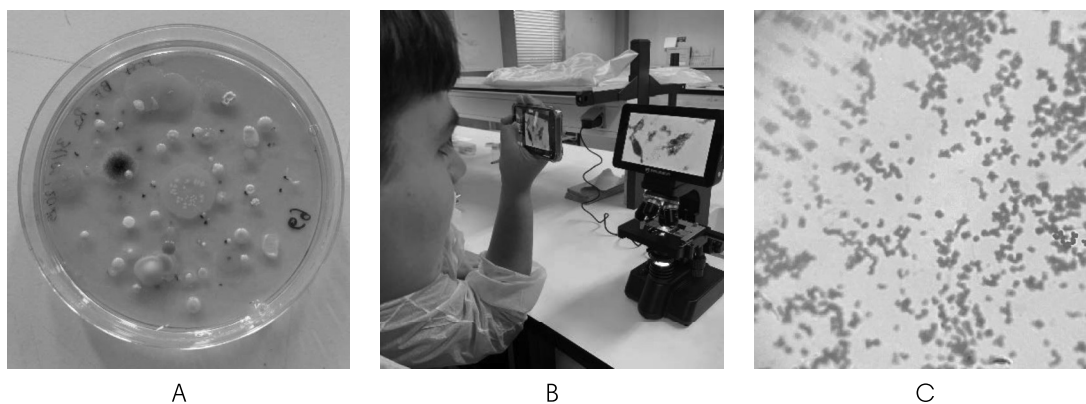


Figura 3. Caracterização microbiológica do ar. Contagem de bactérias em meio de cultura PCA + ciclohexitida (A), identificação de fungos (B) e bactérias (C) ao microscópio.

Discussão e conclusão

A QAI em estabelecimentos escolares representa um fator determinante para o bem-estar e o desempenho de alunos e profissionais da educação. A presença de poluentes físicos, químicos e biológicos, mesmo em concentrações moderadas, pode impactar negativamente a saúde respiratória e a capacidade de concentração, justificando a necessidade de uma vigilância contínua e de medidas preventivas. Neste contexto, os dados obtidos no presente estudo permitem identificar pontos fortes e fragilidades no ambiente escolar analisado, constituindo uma base para a reflexão crítica e a proposta de estratégias de melhoria.

Relativamente aos parâmetros físico-químicos, verificou-se que, em alguns espaços, as concentrações de partículas inaláveis (PM_{10} e $PM_{2.5}$) e CO_2 excederam ligeiramente os limiares de proteção estabelecidos. No caso das PM_{10} , a maioria dos espaços apresentou valores inferiores ao limite legal e significativamente mais baixos do que os registados num estudo semelhante realizado em escolas primárias do Porto^[8]. A única exceção foi o pavilhão desportivo, onde se observaram concentrações mais elevadas, possivelmente associadas ao tipo de atividades aí desenvolvidas, nomeadamente as aulas de Educação Física. Estas atividades tendem a aumentar a turbulência do ar, favorecendo a ressuspensão de partículas previamente depositadas. Recentemente, um estudo identificou a poeira urbana como a principal fonte de PM_{10} em salas de aula, associada não só à infiltração de partículas exteriores, como também à contínua ressuspensão de partículas trazidas para o interior diretamente pelas crianças nos sapatos ou roupa^[9]. No que respeita às $PM_{2.5}$, os valores obtidos foram semelhantes aos observados num estudo realizado em escolas da área metropolitana de Lisboa^[9]. Uma vez que não existem fontes internas relevantes para a emissão deste tipo de partículas, a proximidade da escola a uma via com tráfego automóvel intenso poderá justificar as concentrações ligeiramente acima do limiar de proteção observadas em algumas salas. De facto, a concentração média de $PM_{2.5}$ no ar exterior foi ligeiramente superior à verificada no ar interior, o que indica uma possível influência de fontes externas, nomeadamente o tráfego automóvel. Esta situação poderá ser agravada pela limitação dos sistemas de ventilação, dado que a ventilação existente na maioria dos espaços é exclusivamente natural, o que dificulta o controlo eficaz da entrada de poluentes exteriores. Esta análise é corroborada por um estudo que identificou uma forte correlação entre os níveis de $PM_{2.5}$ no ar interior e exterior de escolas situadas na proximidade de fontes emissoras conhecidas, como o tráfego automóvel^[10]. Relativamente à concentração de CO_2 , os valores acima do limiar de proteção registados na sala D8 poderão estar relacionados com uma combinação de fatores, nomeadamente a elevada taxa de ocupação no dia da medição, o tipo de atividades desenvolvidas (que implicavam uma maior proximidade aos equipamentos de medição) e o sistema de ventilação exclusivamente natural, que limita a renovação eficaz do ar. De facto, um estudo realizado em salas de aulas com e sem ventilação mecânica demonstrou que, no Inverno, as salas com ventilação apenas natural (garantida por janelas frequentemente fechadas devido às baixas temperaturas) apresentavam concentrações de CO_2 significativamente superiores às observadas no verão, quando a renovação do ar era mais frequente^[11]. Quanto aos parâmetros temperatura e humidade relativa, embora



estejam mais relacionados com o conforto térmico dos espaços, também desempenham um papel relevante na QAI. De forma geral, a temperatura média dos espaços estudados situava-se ligeiramente abaixo do intervalo recomendado para salas de aula durante a estação de aquecimento/inverno (20.º a 24.º C). Este resultado pode estar associado com o tipo de ventilação dos espaços (unicamente natural), uma vez que salas equipadas com sistema de ventilação mecânica tendem a apresentar temperaturas mais elevadas [11].

Por último, os parâmetros microbiológicos encontravam-se, na sua maioria, dentro das condições de referência. A única exceção foi registada na cantina, onde a concentração de fungos se revelou ligeiramente superior à observada no ar exterior. Este resultado poderá estar relacionado com as condições ambientais exteriores, nomeadamente a ocorrência de temperaturas mais baixas, que tendem a reduzir a concentração de esporos fúngicos no exterior [8]. Adicionalmente, a presença de uma humidade relativa mais elevada, aliada a uma menor renovação do ar no interior da cantina, poderá ter favorecido o aumento da concentração de fungos neste espaço.

Para concluir, este estudo revelou-se particularmente relevante não só por ter proporcionado aos estudantes do 9.ºB da Escola Básica Eugénio de Andrade a oportunidade de participarem ativamente num trabalho de natureza científica, estimulando o interesse pela investigação, a curiosidade e o pensamento crítico, mas também por ter contribuído para a sensibilização dos próprios estudantes e da comunidade escolar para a importância desta temática. A abordagem prática e participativa adotada reforçou a consciência coletiva sobre a necessidade de promover espaços escolares mais saudáveis e sustentáveis. Entre as medidas que podem ser implementadas para melhorar a QAI, destaca-se a necessidade de assegurar uma ventilação eficaz dos espaços, proporcionando uma renovação adequada do ar e um ambiente térmico confortável. É igualmente importante manter os espaços limpos e organizados, utilizar materiais com baixa emissão de poluentes e garantir uma manutenção regular dos espaços, equipamentos, mobiliários e sistemas de ventilação. Para além disso é importante promover o conhecimento e perceção da comunidade escolar sobre a importância da QAI e envolver a mesma na definição de ações que permitam a sua melhoria. A monitorização contínua dos parâmetros com impacto na QAI e a identificação das principais fontes de poluição, tanto no interior como no exterior dos edifícios escolares, são também ações determinantes. Neste sentido, o reforço das redes de medição da qualidade do ar exterior, particularmente em zonas próximas de escolas, pode representar uma mais-valia. Por fim, na (re)construção ou adaptação dos edifícios escolares, deve considerar-se a utilização de modelos de construção passiva, que favoreçam a eficiência energética e simultaneamente assegurem ambientes interiores mais saudáveis e confortáveis.



Bibliografia

- Selected pollutants*. World Health Organization, Regional Office for Europe.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021). Qualidade do ar. <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/qualidade-do-ar>
- United States Environmental Protection Agency. (2025). Reference Guide for Indoor Air Quality in Schools. <https://www.epa.gov/iaq-schools/reference-guide-indoor-air-quality-schools>
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, Presidência do Conselho de Ministros (2020). Diário da República, 1ª série N.º 237. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>
- Portaria n.º 138-G/2021, de 1 de julho, Saúde e Ambiente e Ação Climática (2021). Diário da República n.º 126/2021, 2.º Suplemento, Série I. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/138-g-2021-166296490>
- EN 13098:2019 *Workplace exposure – Measurement of airborne microorganisms and microbial compounds – General requirements*. (2019).
- EN 16798-1:2019 *Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6*. (2019).
- Madureira, J., Paciência, I., Pereira, C., Teixeira, J. P., & Fernandes, E. D. O. (2016). Indoor air quality in Portuguese schools: Levels and sources of pollutants. *Indoor Air*, 26(4), 526–537. <https://doi.org/10.1111/ina.12237>
- Almeida, S. M., Faria, T., Martins, V., Canha, N., Diapouli, E., Eleftheriadis, K., & Manousakas, M. I. (2022). Source apportionment of children daily exposure to particulate matter. *Science of The Total Environment*, 835, 155349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155349>
- Alameddine, I., Gebrael, K., Hanna, F., & El-Fadel, M. (2022). Quantifying indoor PM2.5 levels and its sources in schools: What role does location, chalk use, and socioeconomic equity play? *Atmospheric Pollution Research*, 13(4), 101375. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101375>
- Du, B., Rey, J. F., Cesari, M., Roulet, C.-A., Favreau, P., Perret, V., Suarez, G., Hager Jörin, C., Goyette Pernot, J., & Licina, D. (2025). Indoor air quality in swiss primary schools: Impacts of mechanical ventilation and seasonal variation. *Building and Environment*, 280, 113146. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113146>

