



MESTRADO

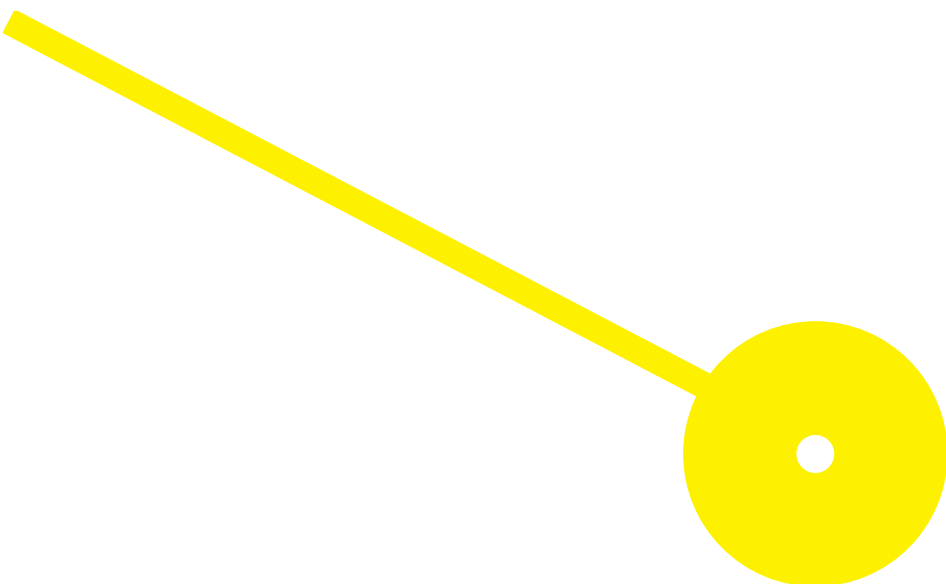
Higiene e Segurança nas Organizações

Qualidade do Ar Interior:

*Uma Revisão Sistemática da Literatura de Estabelecimentos
Escolares e de Ensino*

Cristiana Raquel Palmeira Silva

10/2022





**ESCOLA
SUPERIOR
DE SAÚDE**

Qualidade do Ar Interior:

Uma Revisão Sistemática da Literatura de Estabelecimentos Escolares e de Ensino

Autor

Cristiana Raquel Palmeira Silva

Orientadora

PhD, Manuela Vieira da Silva, ESS|IPP

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em **Higiene e Segurança nas Organizações** pela Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto.

Agradecimentos

A conclusão de mais um ciclo só foi possível com muito estudo, empenho e dedicação. Assim, gostaria de agradecer a todos os que contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço à Professora Doutora Manuela Vieira da Silva pelo contributo dado para a obtenção desta dissertação e pela partilha de conhecimentos.

À minha família e amigos pelo incentivo e apoio.

Ao meu namorado, João Oliveira, por ter estado sempre ao meu lado.

Resumo

O ar é essencial à vida e a garantia de uma qualidade do ar interior saudável constitui um bem imprescindível para todos os seres vivos. As escolas pretendem fornecer o ambiente ideal às crianças e jovens contribuindo para a sua aprendizagem. Este público revela-se mais suscetível à ocorrência de doenças, por se encontrar em desenvolvimento e por permanecerem por longos períodos no interior dos edifícios. Este estudo assentou numa revisão sistemática da literatura, com o intuito de averiguar quais as principais fontes e os poluentes predominantes em escolas e como estes afetam a saúde dos seus ocupantes. Na presente incluíram-se 23 artigos, pesquisados em bases de dados eletrónicas, publicados entre 2010 e 2022. Na generalidade, os estudos permitiram concluir que a taxa de ventilação é a principal potenciadora de uma fraca QAI. Também a ocupação das salas de aula e as atividades desenvolvidas, as operações e produtos utilizados na limpeza e as próprias características dos edifícios foram apontadas como as fontes potenciadoras deste problema. O aumento das taxas de ventilação, a realização de mais estudos, a implementação de medidas preventivas adequadas e a sensibilização dos ocupantes representam ações que melhoram a qualidade do ar interior nestes estabelecimentos.

Palavras-chave: Escolas; Poluentes; Poluição do Ar Interior; Qualidade do Ar Interior

Abstract

Air is essential to life and ensuring healthy indoor air quality is a must for all living things. Schools aim to provide the ideal environment for children and young people to contribute to their learning. This public is more susceptible to the occurrence of diseases because they are developing and because they stay for long periods inside the buildings. This study was based on a systematic review of the literature, to find out the main sources and predominant pollutants in schools and how they affect the health of its occupants. This review included 23 articles, searched in electronic databases, published between 2010 and 2022. In general, the studies concluded that the ventilation rate is the main driver of poor IAQ. The occupation of classrooms and the activities developed, the operations and products used for cleaning and the characteristics of the buildings themselves were also identified as sources of this problem. Increased ventilation rates, further studies, implementation of appropriate preventive measures and awareness-raising among occupants represent actions that improve indoor air quality in these facilities.

Keywords: Indoor Air Quality; Indoor Air Pollution; Pollutants; Schools

Siglas e Acrónimos

ADENE	Agência para a Energia
AEA	Agência Europeia do Ambiente
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ASA	Avaliação Simplificada Anual
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
CEN	Comité Europeu de Normalização
CH₂O	Formaldeído
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
COVT	Compostos Orgânicos Voláteis Totais
ECDC	<i>European Centre for Disease Prevention and Control</i>
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EEE	Estabelecimentos Escolares e de Ensino
EU	União Europeia
US-EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
ISIAQ	<i>International Society of Indoor Air Quality and Climate</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PM	<i>Particulate Matter</i>
PNSE	Programa Nacional de Saúde Escolar
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
QAI	Qualidade do Ar Interior
SINPHONIE	<i>Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe</i>
UT	Utilização-Tipo
WHO	<i>World Health Organization</i>
SED	Síndrome do Edifício Doente

Índice

Índice de Tabelas	I
Índice de Figuras	II
Índice de Gráficos.....	III
1. Introdução	1
2. Revisão da Literatura.....	2
2.1. Edifícios e Certificação Energética.....	2
2.2. Qualidade do Ar Interior e Principais Poluentes.....	3
2.2.1. Poluentes do Ar Interior	5
2.2.2. Conforto Térmico	8
2.2.3. Ventilação.....	8
2.2.4. Síndrome do Edifício Doente (SED).....	9
2.3. Legislação Nacional e Europeia.....	11
2.4. Principais Efeitos na Saúde.....	12
2.5 Métodos e Técnicas de Avaliação da QAI.....	14
2.5.1. Métodos de Medição	14
2.5.2. Definição de Zonas e Locais de Amostragem.....	16
2.5.3. Critérios de Conformidade	18
2.5.4. Relatório de Avaliação da QAI.....	20
2.6 Estabelecimentos Escolares e de Ensino e a Problemática da QAI neste tipo de Edifícios.....	21
2.7 Medidas de Prevenção e Correção.....	22
2.8 Projetos Europeus e Portugueses sobre QAI.....	26
3. Métodos.....	28
3.1. Recolha de Dados.....	28
3.2. Seleção dos Estudos.....	28
4. Resultados	29
4. Discussão	41
5. Conclusão	43
Referências Bibliográficas.....	46

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Fatores e fontes que afetam a QAI e o Conforto Térmico (Adaptado de APA, 2009).....	5
Tabela 2 – Características do Material Particulado.....	7
Tabela 3 – Principais sintomas associados à exposição aos diferentes poluentes (Adaptado de WHO, 2010).....	13
Tabela 4 – Métodos de medição dos poluentes físico-químicos para a avaliação simplificada anual e avaliação para efeitos de fiscalização (Adaptado do Despacho nº 1618/2022).....	15
Tabela 5 – Métodos de medição dos poluentes microbiológicos para a avaliação para efeitos de fiscalização (adaptado do Despacho nº 1618/2022).....	16
Tabela 6 – Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos (Adaptado da Portaria nº 138-G/2021).....	18
Tabela 7 – Condições de referência para os poluentes físico-químicos (Adaptado da Portaria nº 138-G/2021).....	18
Tabela 8 – Métodos básicos de controlo das fontes de poluentes (Adaptado de EPA, 2009).....	24
Tabela 9 – Projetos de investigação europeus sobre QAI	27
Tabela 10 – Principais Objetivos e Resultados dos estudos analisados	31

Índice de Figuras

Figura 1 – Legislação aplicável em matéria de QAI.....	11
Figura 2 – Imagem ilustrativa da penetração das PM de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico (Adaptado de ALEN, 2022)	13
Figura 3 – Métodos de Medição existentes segundo a Portaria nº 1618/2022, de 9 de fevereiro	14
Figura 4 – Esquema da Revisão Sistemática.....	29
Figura 5 – Nº de artigos analisados por país.....	30

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Carga de doença atribuível a exposições internas na UE26 (2,1 M DALY/ano), no ano 2010 (Adaptado de Asikainen et al., 2016).....	11
--	----

1. Introdução

O ar é essencial à vida e a garantia de uma qualidade do ar interior saudável constitui um bem imprescindível para todos os seres vivos. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o ar puro é um requisito básico para a saúde humana e para o bem-estar, sendo por isso, atualmente, motivo de preocupação real a diminuição da qualidade do ar (WHO, 2010).

A poluição do ar, nos níveis verificados atualmente, constitui um perigo para a saúde pública, sendo responsável por uma carga significativa de mortes e internamentos hospitalares, principalmente por doenças cardiovasculares e respiratórias (WHO, 2010). Em Portugal, embora já se tenha verificado um decréscimo, as concentrações de poluentes atmosféricos ainda se destacam pela sua elevada presença e os problemas relacionados com a qualidade do ar persistem, por isso, em algumas zonas do país (APA, 2022; WHO, 2010).

O aumento consecutivo do número de emissões de fontes poluentes, de origem natural ou antropogénica, pela circulação de veículos motorizados, desenvolvimento da indústria, consumo de tabaco, combustíveis, entre outros, que prejudicam a saúde humana, desencadeia problemas de saúde que levam ao aumento da taxa de absentismo, da produtividade das indústrias e do sucesso educacional dos estudantes.

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (AEA), no ano 2019, cerca de 307 000 pessoas morreram prematuramente na União Europeia devido à exposição à poluição por partículas finas (AEA, 2022). A mesma aponta que, se todos os Estados-Membros da UE tivessem atingido o novo nível de referência da qualidade do ar, $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, poderiam ter sido evitadas pelo menos 178 000 mortes, ou seja, cerca de 58% das vidas poderiam ter sido “salvas”.

Variáveis como a composição química e concentração das substâncias libertadas, as condições meteorológicas e a topografia dos locais conduzem a um maior ou menor impacto na qualidade do ar, estando estas sujeitas às dinâmicas da atmosfera, condicionando a qualidade do ar num determinado local, levando assim à poluição do mesmo (APA, 2022).

A exposição da população à poluição do ar constitui um risco significativo em termos de saúde pública. Um grupo particularmente sensível à poluição do ar interior são as crianças, considerando que estas se encontram em fase de desenvolvimento e, por esse motivo, a sua função respiratória ainda está em desenvolvimento. Considerando o tempo que as crianças passam nos Estabelecimentos Escolares e de Ensino (EEE), cerca de 30% do seu dia, é necessário intervir no sentido de minimizar ou eliminar eventuais riscos relacionados com esta problemática, dado que a mesma tem um elevado peso no aparecimento ou agravamento de doenças respiratórias nestas faixas etárias, como a asma, uma doença crónica que afeta cerca de 12% de jovens em Portugal (Norma nº 015/2015, de 12 de agosto, da Direção-Geral da Saúde, 2015; Sadrizadeh et al., 2022).

De acordo com o Programa Nacional de Saúde Escolar, regulada pela norma mencionada, do Ministério da Saúde português, a qualidade do ar interior tem um impacto crescente na saúde

humana, sendo a má qualidade um fator de risco de maior importância para as principais doenças não transmissíveis (Norma nº 015/2015, de 12 de agosto, da Direção-Geral da Saúde, 2015).

Embora os estudos ainda sejam poucos no que respeita às concentrações de poluentes atmosféricos à volta das escolas, é importante fazer a monitorização dos mesmos a fim de averiguar a eventual excedência dos valores recomendados pela OMS (Osborne et al., 2021). Este estudo realizado no Reino Unido permitiu concluir que, na Inglaterra, um grande número de crianças está exposto à pobre qualidade do ar.

É de conhecimento empírico que a qualidade do ar interior é afetada pela qualidade do ar exterior e, para tal, a OMS defende que deverão ser adotadas medidas que permitam reduzir substancialmente a poluição do ar, de forma a proteger a saúde das crianças, como, por exemplo, a eliminação gradual da gasolina com chumbo, que levará à redução dos níveis de chumbo no sangue em crianças e do risco de desenvolvimento neurocomportamental prejudicado (WHO, 2022a).

Desta forma, é necessário proceder à monitorização assídua da qualidade do ar, para que seja possível tomar medidas de gestão adequadas a determinada instituição, com vista à melhoria dos níveis dos vários poluentes. A nível nacional é a APA que detém a responsabilidade de promover e implementar uma política de avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, de forma a que seja dado cumprimento às obrigações nacionais, europeias e internacionais referentes a esta matéria. Neste âmbito, é de extrema importância a proteção da saúde pública assim como a promoção da qualidade de vida da população, estando esta agência encarregue de informar e sensibilizar todos os cidadãos para a melhoria dos seus comportamentos e atitudes (APA, 2022).

Os objetivos da presente revisão pretendem averiguar quais os poluentes do ar interior predominantes em escolas e a forma como estes afetam a saúde dos seus ocupantes, bem como, aferir quais os principais fatores que afetam a QAI nestes estabelecimentos.

2. Revisão da Literatura

2.1. Edifícios e Certificação Energética

Os edifícios caracterizam-se por serem construções cobertas, com paredes e pavimentos, que se destinam à utilização humana, com vista a propiciar condições de conforto térmico (Decreto-Lei nº 101-D/2020, de 7 de dezembro, da Presidência do Conselho de Ministros, 2020).

No caso deste estudo, os EEE destinam-se a receber público, nomeadamente crianças e jovens, e permitir a realização de ações de educação, ensino e formação ou atividades lúdicas/educativas para crianças e jovens, englobando todos os níveis de ensino, como creches, jardins-de-infância, escolas primárias, universidades, entre outros. Considerando o tempo que passam no interior destes edifícios, é cada vez mais notória a preocupação que existe em torno da QAI em edifícios, que se

prende com a possibilidade de exposição dos ocupantes a uma variedade de poluentes, podendo conduzir a efeitos negativos nos indivíduos em relação ao seu comportamento, produtividade, bem-estar e saúde.

Outro aspeto diretamente relacionado com a QAI é a Certificação Energética, que diz respeito à avaliação da eficiência energética de um determinado edifício ou fração (DECO PROTESTE, 2022). Esta classificação, caracterizada por um certificado com número próprio e emitido por perito qualificado reconhecido pela Agência para a Energia (ADENE), é apresentada sob a forma de uma escala de A+ (muito eficiente) a F (pouco eficiente). O prazo de validade desta é de dez anos, para edifícios de habitação e pequenos edifícios de comércio e serviços, e de oito anos, para grandes edifícios de comércio e serviços, devendo a mesma ser renovada no final deste período (ADENE, 2022).

2.2. Qualidade do Ar Interior e Principais Poluentes

Sabe-se que mais de 80% do nosso tempo é passado em espaços interiores, onde os níveis de poluentes podem ser até 100 vezes superiores aos do ar exterior. No caso das crianças/jovens, este tempo é passado, maioritariamente, entre escola e casa, sendo importante garantir a QAI destes espaços, prevenindo a ocorrência de doenças relacionadas com este problema, nomeadamente ao nível respiratório (Almeida et al., 2010; Annesi-Maesano et al., 2013; Gennaro et al., 2014).

A QAI é definida como um indicador dos tipos e quantidades de poluentes presentes no ar interior suscetíveis de causar dano ou desconforto na saúde de todo e qualquer ser vivo (ISIAQ, 2006). Segundo a mesma fonte, a qualidade do ar é quantificada através da medição do valor da concentração média do(s) poluente(s) durante um certo período de exposição (geralmente opta-se por um intervalo de 8h, correspondente a uma jornada de trabalho). De acordo com a APA, esta qualidade é perturbada pela presença de determinados poluentes e é condicionada pelas fontes de emissão (indústria, veículos, agricultura, etc.) e pelos fatores meteorológicos (vento, chuva, temperatura, etc.), que dificultam a identificação dos primeiros e consequentes problemas de saúde (APA, 2022). A poluição do ar interior é afetada pelos agentes que penetram o ar exterior e pelos que são gerados pelas fontes internas existentes nos edifícios, sendo que a identificação das fontes emissoras destes agentes no interior fica mais facilitada, levando a uma maior eficácia na prevenção de danos na saúde dos ocupantes (Breysse et al., 2010; EPA, 1990).

De acordo com a OMS, não só os fatores ambientais externos têm impacto no desenvolvimento de problemas de saúde quando falamos da QAI. Além destes, também os poluentes “domésticos”, como os COV e as PM, bem como a humidade e a temperatura do ar, assumem um importante papel nesta temática (WHO, 2000).

As escolas são infraestruturas que fornecem o processo de ensino para alunos, com o objetivo de formar e desenvolver cada indivíduo no que respeita aos aspetos cultural, social e cognitivo. Em Portugal, no ano letivo 2019/2020, encontravam-se cerca de 2 milhões de crianças, jovens e adultos a frequentar o sistema educativo português, entre sistema público e privado (Conselho Nacional de Educação, 2021). Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), para o mesmo ano letivo, registou-se a existência de 8 192 EEE em Portugal Continental, sendo que 33% destes estão localizados no Norte do país, correspondendo assim a 2 784 estabelecimentos.

Os alunos portugueses são dos que têm uma média de horas de aulas obrigatórias mais elevadas ao nível europeu, pelo que, conseqüentemente, estarão mais tempo no interior das salas de aula. Estes estabelecimentos recorrem, sobretudo, a mecanismos de ventilação natural, optando pela abertura de portas e janelas, porém, estas também são mantidas muitas vezes fechadas, de forma a manter temperatura aquecida nos espaços, o que conduz ao aumento da concentração dos poluentes.

Um estudo desenvolvido em Portugal demonstrou que existe uma preocupação com a exposição aos COV, visto que, embora possam ter uma origem diversificada, estão indiscutivelmente presentes no interior dos edifícios, nomeadamente nos produtos de construção, mobiliário e decoração assim como atividades de manutenção e de lazer (Almeida et al., 2010). Outro estudo desenvolvido por Torres et al. (2018), em 73 salas de aula de 20 escolas do Porto, permitiu corroborar o anteriormente descrito, dado que em 86% das salas eram excedidos os limites de CO₂, PM₁₀ e PM_{2,5} preconizados na lei.

Segundo Gennaro et al. (2014), a localização, a idade e a estanqueidade dos edifícios escolares, o design das salas, a taxa de ventilação, os materiais de construção e mobiliário, as atividades dos ocupantes e a poluição exterior desempenham um papel preponderante nas concentrações de poluentes interiores. Todos estes fatores conduzem a uma fraca QAI que, conseqüentemente, leva ao desconforto e à redução da atenção, produtividade e performance dos estudantes em cerca de 6 a 9% (Wyon, 2004).

Ora, este fator pode ser combatido recorrendo a mecanismos de renovação de ar como a ventilação. A concentração de CO₂ é o principal parâmetro indicador da QAI em locais densamente ocupados pelo que, para que sejam praticadas concentrações não prejudiciais para a saúde dos ocupantes, revela-se imprescindível promover uma ventilação adequada continuamente, independentemente dos sistemas de aquecimento ou arrefecimento, evitando o consumo desnecessário de energia (Gil-Baez et al., 2017). De acordo com Lee & Chang (1999), níveis altos de PM₁₀ e CO₂ estão diretamente relacionados com ventilação ineficaz ou inadequada, o que se reflete diretamente no desempenho académico dos alunos e pessoal docente e não docente.

Como já mencionado anteriormente, existem diversos fatores que afetam a QAI. Questões relacionadas com a qualidade do ar exterior, a atividade desenvolvida pelo ser humano, os materiais

de construção, o mobiliário e respetiva disposição, a ocupação dos espaços e a atividade física desenvolvida pelos que os ocupam são extremamente relevantes no que concerne à degradação da qualidade do ar (Almeida et al., 2010; Csobod et al., 2014; Śmiełowska et al., 2017). Na Tabela 1 encontram-se os principais fatores que afetam a QAI e respetivas fontes.

Tabela 1 – Fatores e fontes que afetam a QAI e o Conforto Térmico (Adaptado de APA, 2022)

Fator	Fonte
Temperatura e Humidade	Colocação imprópria dos dispositivos de medição (termostatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e densidade de ocupação.
Dióxido de Carbono	Número de pessoas (bioefluentes humanos), queima de combustíveis fósseis (gás, aquecedores, etc.).
Monóxido de Carbono	Emissões de veículos (garagens, entradas de ar), combustão, fumo do tabaco.
Formaldeído	Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia – tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.
Partículas	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de ventilação mecânica, limpezas.
Compostos Orgânicos Voláteis	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo de tintas, adesivos, perfumes, lacas, solventes.
Ventilação inadequada (ar exterior insuficiente, deficiente circulação)	Medidas de poupança de energia e manutenção, má conceção do projeto do sistema AVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração do funcionamento do sistema AVAC pelos ocupantes, conceção desajustada dos espaços em avaliação.
Conforto Térmico	Velocidade do ar, temperatura do ar, temperatura média radiante, humidade relativa do ar, isolamento térmico da roupa, metabolismo

2.2.1. Poluentes do Ar Interior

⇒ Dióxido de Carbono (CO₂)

Embora não seja considerado um gás poluente no exterior, o dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais poluentes de ambientes interiores, devido à taxa de ocupação dos espaços, dado que este faz parte do metabolismo humano e é libertado durante a expiração. Assim, uma maior taxa de ocupação dos espaços está diretamente relacionada com o aumento da sua concentração, sendo assim utilizado como indicador de renovação do ar (em locais que não tenham uma fonte de

contaminação além da ocupação humana) (Freitas, 2008). Além disto, segundo o mesmo autor, pode também ser originado através da combustão de gás ou lenha.

⇒ Monóxido de Carbono (CO)

Este gás, comumente associado a mortes por envenenamento, caracteriza-se por ser tóxico, incolor, não irritante, inodoro e insípido e pode ter origem em fontes naturais e/ou antropogénicas (Freitas, 2008; US-EPA, 2022; WHO, 2010). Segundo as mesmas fontes, a sua origem natural assenta na atividade vulcânica, descargas elétricas e emissões de gás natural. Por outro lado, ao nível antropogénico, ele resulta de processos de combustão incompletos associados à exaustão dos veículos, queimas e queimadas de lenha, carvão, entre outros, e processos produtivos de fábricas.

⇒ Formaldeído (CH₂O)

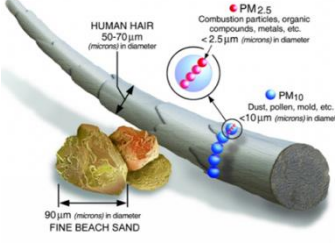
O formaldeído, agente carcinogénico e irritante das vias respiratórias superiores e dos olhos, é um gás incolor, inflamável e volátil e é libertado, quanto a fontes naturais, através da combustão de biomassa (como os incêndios florestais) e através de vulcões, por exemplo, e quanto às antropogénicas, está fortemente associado à queima de combustível utilizado nos automóveis (APA, 2022; WHO, 2010). Este gás, embora seja um tipo de COV, acaba por ser estudado separadamente dada a sua importância, visto que, mesmo em concentrações reduzidas, é capaz de causar irritação na garganta, olhos e nariz. Segundo a US-EPA (1992), no que respeita a espaços interiores, as principais fontes de formaldeído são os materiais dos edifícios, os contraplacados, os tecidos/decoração, líquidos de limpeza, adesivos, etc., dependendo a sua concentração de outros fatores como ventilação, temperatura interior e exterior e humidade. Corroborando esta informação, Laumbach (2008) concluiu que estes tipos de produtos provocam teores excessivos deste poluente em ambientes interiores, como o caso das salas de aula.

⇒ Partículas (Material Particulado – PM_x)

As partículas, ou material particulado, são definidas como a matéria sólida ou líquida em suspensão no ar. As partículas acumulam-se no interior dos edifícios e provêm de fontes interiores e exteriores, que entram nestes por infiltração natural e pelas entradas de ar (APA, 2022).

As PM são categorizadas de acordo com o seu tamanho (sendo preocupante para a saúde humana a gama de tamanhos de 0,1 a 10 µm, considerando que com este tamanho são inaladas, pois o nariz não as consegue filtrar), tal como descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Características do Material Particulado

PM ultrafino	PM ₁	Material particulado com diâmetro inferior a 1 µm	 <p>Fonte: US-EPA (2022)</p>
PM fino ou respirável	PM _{2,5}	Material particulado com diâmetro aerodinâmico médio nominal menor ou igual a 2,5 µm	
PM grosseiro	PM ₁₀	Material particulado com diâmetro aerodinâmico médio nominal superior a 2,5 µm e menor ou igual a 10 µm	

Espaços que utilizem o sistema de ventilação mecânico podem, por si só, ter uma fonte de partículas visto que neste são usados aditivos, na fase da humidificação, desinfetantes, inibidores de crescimento biológico, entre outros (APA, 2022). Estas partículas têm a capacidade de serem transportadas até largas distâncias pelo ar e podem ter origem em fontes antropogênicas como, entre outras, a veiculação dos automóveis e os processos de combustão de indústrias e fumo do tabaco, ou em fontes naturais, como os incêndios florestais, as erupções vulcânicas, as poeiras do deserto, o pólen, etc. (Osborne et al., 2021; WHO, 2006).

⇒ Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

Segundo o Decreto-Lei nº 127/2013, de 30 de agosto, do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (2013) e respetivas alterações, um Composto Orgânico define-se como qualquer composto que, na sua composição, esteja presente pelo menos o elemento carbono e um ou mais dos elementos hidrogénio. Pelo mesmo diploma, um COV é aquele que apresenta pressão de vapor igual ou superior a 0,01 kPa, a 293,15 K, ou com uma volatilidade equivalente em determinadas condições de utilização. Estes compostos, com pontos de ebulição na gama de 50 a 250°C, existem sob forma sintética ou natural, estão fortemente presentes em ambientes interiores e têm a particularidade de facilmente serem vaporizados em condições de temperatura e pressão ambiente comuns nestes locais (APA, 2022; Freitas, 2008). Estes compostos são produzidos na combustão, ou seja, em processos produtivos industriais e nos transportes (Freitas, 2008). Além disso, são também fontes de COV, solventes, tintas, colas, combustíveis, móveis, repelentes, produtos de limpeza, produtos cosméticos, pesticidas, roupas limpas a seco, marcadores permanentes, entre outros. Neste sentido, é de importante relevância o papel dos produtos de limpeza, pois estes são concebidos para promover a eliminação ou redução da carga viral, bacteriana, etc., porém são contributivos para o seu aumento assim como de outros poluentes (Seguel et al., 2017). A sua produção ou utilização noutros processos de fabrico também gera emissões de COV por evaporação no âmbito do manuseamento das matérias-primas ou dos produtos (APA, 2022). Ao nível de espaços com características idênticas aos compartimentos

existentes nas escolas, pode verificar-se que estes poluentes advêm de tarefas do quotidiano pela utilização de equipamentos de escritório (p.e. impressora), produtos de limpeza e produtos de higiene pessoal assim como pelos materiais utilizados na construção e o mobiliário existente (Wyon, 2004).

2.2.2. Conforto Térmico

O conforto térmico varia consoante o ser humano e revela a forma como o corpo e o ambiente estão interligados. Existem várias definições para o conforto térmico e, pelo facto de variar de pessoa para pessoa, comprova ser um fator relevante no que diz respeito à saúde e bem-estar do ser humano (Ormandy & Ezratty, 2012). De acordo com a Norma EN ISO 7730 (2005), este é definido como uma condição da mente na qual é expressa satisfação com o ambiente térmico. Assim sendo, o ser humano deve ser capaz de não sentir frio nem calor excessivos, estando a usar uma quantidade de roupa normal, e mantendo a temperatura corporal não inferior a 34°C nem superior a 37°C. Ora, a ausência deste fator pode conduzir a uma diminuição no nível de atenção dos alunos e, conseqüentemente, haver uma quebra no desempenho e produtividade. Este fator é afetado por tantos outros individuais e ambientais, como a temperatura do ar, o movimento do ar, a humidade relativa e a ventilação (Ormandy & Ezratty, 2012).

2.2.3. Ventilação

Um dos fatores que afeta a QAI é a ventilação, que se caracteriza pelo processo em que é fornecido ou removido ar, de um determinado local/espço, de forma a que o ar poluído seja substituído por ar renovado (ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2016; ASHRAE, 2020; Santos, 2020). Este fator, que tem por finalidade o controlo da qualidade do ar e do ambiente térmico, define-se como o processo de insuflação e extração de ar, recorrendo a meios naturais ou mecânicos, com o intuito de proporcionar condições de bem-estar aos utilizadores dos diferentes espaços (Freitas, 2008). Considerando a legislação em vigor, a taxa de renovação deve ser, no mínimo, de 40% do ar do espaço, por hora (ADENE, 2016). De acordo a Norma EN 13779:2007, de 26 de Março, Do Comité Técnico Do Conselho Europeu (2007), respeitante à ventilação de espaços não residenciais, por ocupante deve ser garantida, para uma boa qualidade do ar interior, uma taxa de ventilação mínima de 8L/s e, para uma boa qualidade média do ar interior, deve assegurar-se um caudal de 12,5L/s de ar. Esta ventilação pode ser natural (vista como a eficientemente mais energética), correspondendo à que ocorre ao longo de trajetos de fugas controladas de escoamento de ar, devido às ações do calor e do vento, assim como pelas aberturas no edifício (como portas, janelas, claraboias, chaminés, entre outros), decorrente das diferenças de pressão, e sem auxílio de componentes motorizados de movimentação da massa de ar (ADENE, 2016; ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2016; Decreto-Lei nº 101-D/2020, de 7 de dezembro, da Presidência do Conselho de Ministros, 2020). Além deste tipo,

existe também a ventilação mecânica que, segundo as mesmas referências, diz respeito à ventilação que não é natural, ou seja, aquela que é fornecida por equipamentos acionados mecanicamente, como sistemas AVAC, ventiladores, etc., e que, de uma forma ininterrupta, assegura o escoamento de ar de forma controlada. Por último, existe também a ventilação mista que diz respeito à conjugação dos dois tipos de ventilação supramencionada, caracterizando-se pela existência de extratores individuais com condutas também individuais (ADENE, 2016).

Sabe-se que uma má QAI nas escolas está diretamente relacionada com uma ventilação inadequada e, conseqüentemente, com um aumento da concentração de CO₂ (Annesi-Maesano et al., 2013). Desta forma, para que os níveis de CO₂, o principal indicador da QAI, seja mantido dentro dos valores limite estabelecidos, é necessário que seja fornecida ventilação suficiente, em detrimento da eventual utilização de ventilação mecânica (Gil-Baez et al., 2017). A ventilação revela-se então essencial para fornecer oxigénio para o metabolismo humano e contribui, também, para a diminuição das concentrações de poluentes químicos, físicos ou biológicos que possam entrar ou sair do interior dos edifícios (Santos, 2020). Para que seja possível melhorar a ventilação dos edifícios, deve ser dado cumprimento aos seguintes aspetos (ADENE, 2016):

- O ar deve seguir um fluxo: dos espaços principais para os de serviço e, conseqüentemente, evacuado pelas chaminés;
- Devem existir janelas e/ou aberturas adequadas nas paredes que permitam a entrada de ar;
- As portas de divisões por onde o ar vá ser escoado devem dispor de grelhas junto ao pavimento;
- As infiltrações de ar por frinchas devem ser reduzidas ou eliminadas;

A instalação de equipamentos mecânicos de ventilação deve ser realizada por profissionais com formação na área. Importa realçar que Portugal, tal como muitos países da Europa, utiliza a abertura de janelas para promover a ventilação natural nas escolas, porém esta é uma ação que leva a níveis inadequados de bioefluentes humanos (Vassella et al., 2021). Além disso, segundo o mesmo autor, esta abertura pode levar ao desconforto dos alunos, pois está sempre sujeita ao bom senso dos responsáveis implicando uma importante gestão, dado que o ideal, ainda com a agravante da pandemia por COVID-19, é promover esta ventilação durante os intervalos, de modo a não proporcionar o desenvolvimento de doenças respiratórias provocadas por resfriados ou outros.

2.2.4. Síndrome do Edifício Doente (SED)

O Síndrome do Edifício Doente (SED) é um conceito associado a um conjunto de sintomas sentidos por um determinado grupo de pessoas, para a qual o médico não consegue identificar uma causa (Freitas, 2008; Surawattanasakul et al., 2022). Segundo os mesmos autores, embora não seja

acompanhado por nenhuma lesão orgânica ou física, é responsável por, principalmente, manifestações nasais, oculares, da orofaringe, cutâneas e gerais, levando, conseqüentemente, à insatisfação no trabalho, redução da produtividade e aumento da taxa de absentismo por doença. De acordo com a EPA (1991), em 1984 foi elaborado um relatório do Comité da OMS onde foi indicado que até 30% dos edifícios novos e/ou reabilitados em todo o mundo podem ser alvo de um elevado número de reclamações relacionadas com a QAI. Além desta informação, foi também sugerido que esta condição, embora seja muitas vezes temporária, pode, nalguns edifícios, representar problemas a longo prazo.

Os principais fatores de risco associados a este síndrome são (Freitas, 2008):

- **Físicos:** temperatura, humidade relativa, ventilação, iluminação artificial, ruído e vibrações;
- **Químicos:** formaldeído, COV, biocidas (utilizados nos humidificadores), odores, partículas e fibras;
- **Biológicos:** vírus, bactérias e fungos;
- **Psicológicos:** *stress*, irritação e cansaço.

Segundo um estudo realizado por Surawattanasakul et al. (2022), constatou-se que os níveis aumentados de formaldeído e de CO₂ estão diretamente relacionados com problemas ao nível do trato respiratório superior humano. Para o alcance de um ambiente sem risco ou com menor risco para o ocupante, é necessária a implementação de medidas que visem a ventilação interna.

Alguns estudos realizados nesta vertente demonstraram que o sexo feminino é o mais afetado por este síndrome, considerando que as responsabilidades domésticas assim como a participação em atividades sociais foram apontadas como as principais causas desta prevalência (Edvardsson et al., 2008; Söderholm et al., 2016).

Neste sentido, a OMS, como entidade máxima no que respeita à saúde e sua prevenção, é responsável pelo desenvolvimento de estudos que visam verificar a influência de diversos fatores de risco no desenvolvimento de doenças. Ora, nesta vertente, surge o termo *Burden of Disease* (i.e. Carga de Doença) onde é quantificada a mortalidade e morbidade devido a uma determinada doença ou fator de risco. O indicador mais utilizado para esta determinação é designado *Disability-Adjusted Life Year* (DALY, ou, em português, Ano de Vida Ajustado por Incapacidade), que combina os anos de vida perdidos por invalidez/incapacidade com os anos de vida perdidos por morte, permitindo assim hierarquizar as doenças e fatores de risco com base na sua importância para a saúde pública (WHO, 2007, 2022b). O Gráfico 1 mostra os dados relativos à carga de doença atribuível a exposições internas nos 26 países que constituíam a União Europeia, em 2010, destacando-se a percentagem atribuída às PM_{2,5}, estando estimado que quase 80% da carga anual de doenças por exposições interiores é causada por este tipo de poluente, dominado por partículas provenientes do exterior que penetram em os espaços interiores (Asikainen et al., 2016).

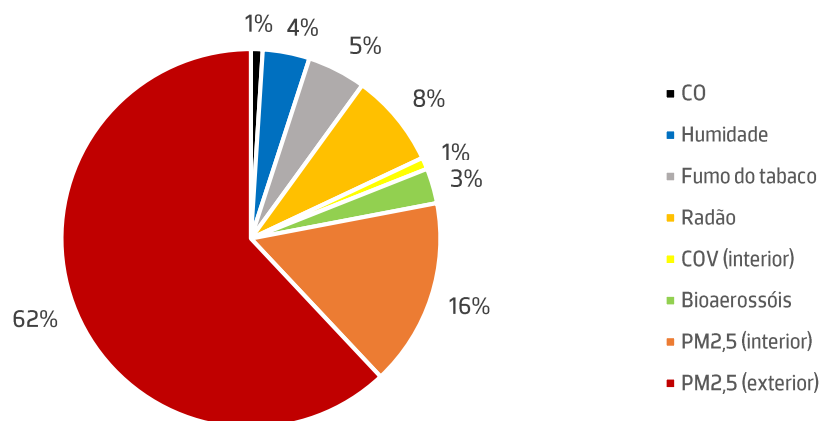


Gráfico 1 - Carga de doença atribuível a exposições internas na UE26 (2,1 M DALY/ano), no ano 2010 (Adaptado de Asikainen et al., 2016)

2.3. Legislação Nacional e Europeia

No que concerne a legislação, Portugal, por ser um Estado-membro da UE, rege-se pelas normas que são instituídas pelo Conselho Europeu. Ora, o estabelecimento de regras em matéria de QAI tem como principal objetivo promover um melhor ambiente interno, de forma a proteger a saúde humana bem como evitar a emissão de poluentes nocivos para o ambiente. Esta constante preocupação e respetiva definição de valores limite legais por parte destes organismos permite controlar a concentração destes agentes e prevenir as doenças respiratórias nos indivíduos. Assim, na Figura 1 são expostos os diplomas legais mais relevantes nesta matéria:



Figura 1 - Legislação aplicável em matéria de QAI

Considerando o elevado peso que os edifícios representam ao nível do consumo energético, diversas normas têm sido aplicadas de forma a melhorar a QAI e o desempenho energético (IDAD, 2022).

O Decreto-Lei nº 101-D/2020, de 7 de dezembro, da Presidência do Conselho de Ministros (2020), que estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpõe para direito nacional a Diretiva (UE) 2018/844 e, parcialmente, a Diretiva (UE) 2019/944, assume um importante papel no que respeita a QAI. Este diploma, segundo consta do ponto 2, do seu artigo 16º, determina que todos os edifícios de comércio e serviços em funcionamento, onde se incluem os EEE, estão sujeitos a requisitos relacionados com a Qualidade do Ar Interior, mediante o cumprimento de limiares de proteção e condições de referência.

Assim, de acordo com o ponto 3, do artigo 16º, do diploma supramencionado, as escolas estão sujeitas a uma avaliação simplificada anual da QAI. Para este efeito, a 1 de julho de 2021, foi publicada a Portaria nº 138-G/2021, de 1 de julho, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática (2021), onde são estabelecidos os requisitos para a realização desta avaliação neste tipo de edifícios. Além disso, encontram-se aqui também definidos os limiares de proteção, condições de referência e critérios de conformidade, tal como a metodologia a aplicar no que respeita à medição dos poluentes e fiscalização do cumprimento das normas aprovadas. No seguimento desta publicação, a 9 de fevereiro do corrente ano, foi publicado o Despacho nº 1618/2022, de 9 de fevereiro, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática (2022) e que determina os procedimentos de registo das obrigações previstas no Decreto-Lei nº 101-D/2020, e o regime de avaliação simplificada anual de requisitos relacionados com a qualidade do ar interior. Outro diploma com relevância, embora não seja direcionado para a QAI, é o Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de setembro, do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território (2010), e respetivas alterações, que é relativo ao regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente. Ora, não sendo vocacionado para o interior dos edifícios, este poderá estar diretamente relacionado com a QAI, visto que os poluentes presentes no ambiente exterior afetam esta qualidade. Assim, neste diploma são estabelecidas medidas destinadas a definir e fixar objetivos relativos à qualidade do ar ambiente, com o fim de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente.

2.4. Principais Efeitos na Saúde

Os principais efeitos na saúde provocados pela exposição a poluentes diretamente relacionados com a degradação da qualidade do ar são, maioritariamente, associados ao trato respiratório do ser humano (Manual MSD, 2022). O sistema respiratório inicia no nariz e na boca, por onde entra o ar,

sendo depois dirigido até aos pulmões, passando pela garganta (faringe e/ou laringe), podendo ocorrer a deposição de partículas poluentes ao longo deste trajeto, conforme mostra a Figura 2.

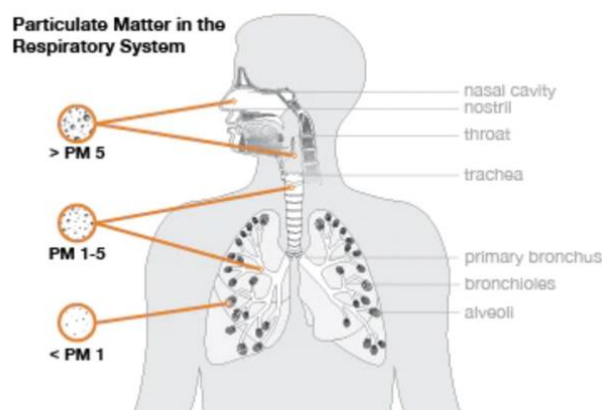


Figura 2 – Imagem ilustrativa da penetração das PM de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico (Adaptado de ALEN, 2022)

No entanto, existem também outras sintomatologias associadas a outros sistemas, que são indicativas da falta de QAI, quando na presença dos principais poluentes, conforme se pode averiguar pela Tabela 3.

Tabela 3 – Principais sintomas associados à exposição aos diferentes poluentes (Adaptado de WHO, 2010)

POLUENTE					outros efeitos
CO₂ (Dióxido de Carbono)	Irritação das mucosas dos olhos	Irritação da garganta, dificuldades respiratórias	Tonturas, sonolência, fadiga, cefaleias		Perda de acuidade mental, náuseas
CO (Monóxido de Carbono)		Asfixiante (impede o sangue de receber oxigénio)	Tonturas, sonolência, cefaleias	Danifica o coração e agrava doenças cardíacas	Pode conduzir à morte (em doses elevadas)
CH₂O (Formaldeído)	Ardor nos olhos	Irritação da garganta, dificuldades respiratórias, reações asmáticas			Náuseas, irritação da pele, pode provocar cancro da nasofaringe
PM_x (Partículas ou Material Particulado)	Redução da visibilidade, irritação das mucosas dos olhos	Bronquites crónicas, crises respiratórias, irritação das vias respiratórias		Crises cardíacas	
COV (Compostos Orgânicos Voláteis)	Irritação das mucosas dos olhos	Irritação da garganta, tosse, irritação das vias respiratórias	Cefaleias, náuseas		

2.5 Métodos e Técnicas de Avaliação da QAI

De acordo com o artigo 6º, da Portaria nº 138-G/2021, de 1 de julho, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática (2021), a medição dos poluentes deve obedecer às normas CEN, ISO ou a outros métodos que estejam padronizados e normalizados por entidades credíveis, como por exemplo o Centro de Prevenção e Controlo das Doenças (ECDC) ou a OMS.

Segundo o mesmo diploma, estas medições só devem ser efetuadas por laboratórios acreditados para o efeito ou que detenham um sistema de gestão da qualidade implementado.

Conforme consta do Despacho nº 1618/2022, de 9 de fevereiro, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática (2022), as creches e estabelecimentos escolares e de ensino estão sujeitos a uma avaliação simplificada anual (ASA) e deve ser efetuado o seu registo num prazo máximo de 180 dias após a entrada em vigor deste diploma. Ora, no que respeita a esta avaliação, obrigatória para este tipo de estabelecimentos, deve incluir no mínimo a medição do dióxido de carbono (CO₂) e das partículas em suspensão (PM₁₀ e PM_{2,5}). Estas medições assumem outro carácter quando se fala em avaliação para efeitos de fiscalização. Nestes casos, além dos poluentes anteriormente mencionados, devem ser também medidos os COV, monóxido de carbono (CO), formaldeído (CH₂O), radão (Rn) e poluentes microbiológicos (bactérias e fungos). Importa realçar que a ASA tem validade de um ano e, findo este tempo, deve ser realizada uma nova avaliação no prazo máximo de 30 dias. Além disso, é recomendável que os responsáveis pelas medições participem em ensaios de comparação interlaboratorial, sempre que possível.

2.5.1. Métodos de Medição

Os métodos de medição existentes, segundo a legislação mais atual, encontram-se esquematizados na Figura 3.

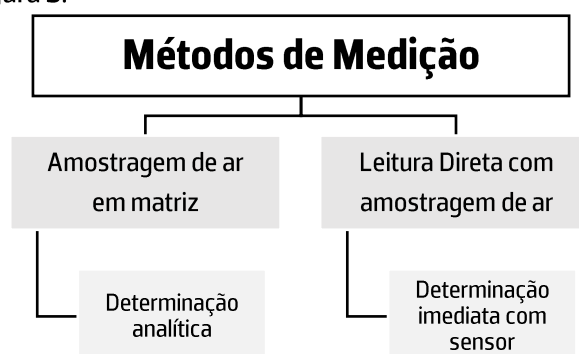


Figura 3 – Métodos de Medição existentes segundo a Portaria nº 1618/2022, de 9 de fevereiro

O Despacho já mencionado define as metodologias a aplicar e a executar em cada caso. Neste seguimento, na Tabela 4 encontram-se descritos os métodos a aplicar para a medição dos poluentes físico-químicos, considerando os tipos de avaliação existentes.

Tabela 4 – Métodos de medição dos poluentes físico-químicos para a avaliação simplificada anual e avaliação para efeitos de fiscalização (Adaptado do Despacho nº 1618/2022)

Tipo de Avaliação	Poluente	Método preferencial	Métodos equivalentes	Características técnicas	
				Erro máximo admissível* (considerar o maior)	Resolução
Avaliação Simplificada Anual	CO ₂	Leitura direta com sensor infravermelho não dispersivo	Leitura direta com sensor (eletroquímico; infravermelho por transformada de Fourier; PAS-sensor foto acústico)	50 ppm ou 10% da leitura	1 ppm
	Partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5})	Amostragem ativa em filtro colocado em amostrador seletivo para PM ₁₀ e PM _{2,5} e análise gravimétrica	Leitura direta (dispersão ótica (UV, laser); absorção por radiação Beta; microbalança de oscilação de peso (TEOM); ressonância piezoelétrica)	10 µg/m ³ ou 10% da leitura	1 µg/m ³
Avaliação para de efeitos de fiscalização	CO ₂	Leitura direta com sensor infravermelho não dispersivo	Leitura direta com sensor (eletroquímico; infravermelho por transformada de Fourier; PAS-sensor foto acústico)	50 ppm ou 10% da leitura	1 ppm
	CO			4 ppm ou 4% da leitura	
	CH ₂ O	Amostragem ativa (2,4-DNPH**) e análise HPLC	Leitura direta com sensor (eletroquímico; fotometria)	0,02 ppm	0,01 ppm
	Partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5})	Amostragem ativa em filtro colocado em amostrador seletivo para PM ₁₀ e PM _{2,5} e análise gravimétrica	Leitura direta (dispersão ótica com UV ou laser; absorção por radiação Beta; microbalança de oscilação de peso) ou Ressonância piezoelétrica	10 µg/m ³ ou 10% da leitura	1 µg/m ³
	COV (expresso em equivalentes de tolueno)	Amostragem ativa (TENAX) e análise por TD-GC-MS/FID	Leitura direta com sensor (FID-detetor de foto ionização de chama; PID-detetor de foto ionização; PAS-Sensor foto acústico; infravermelho por transformadas de Fourier)	50 µg/m ³ ou 10% da leitura	10 µg/m ³
	Radão (Rn)	De acordo com as disposições da APA, conforme Decreto-Lei nº 108/2008, de 3 de dezembro			

*Erro máximo admissível (EMA) = |erro equipamento| + |incerteza de calibração/verificação|

Além dos poluentes físico-químicos, também os microbiológicos são alvo de metodologia específica, descrita na Tabela 5.

Tabela 5 – Métodos de medição dos poluentes microbiológicos para a avaliação para efeitos de fiscalização (adaptado do Despacho nº 1618/2022)

Tipo de Avaliação	Poluente	Método preferencial	Volume de ar	Incerteza expectável (%)
Avaliação para efeitos de fiscalização	Bactérias cultiváveis	Impacto em meio de cultura (de acordo com norma EN 13098:2019)	Recomenda-se um volume de ar entre 200 e 300 L (a ajustar de acordo com a contaminação expectável do ar ambiente)	< 40
	Fungos cultiváveis	seguido de incubação e quantificação		

Importa ainda realçar a necessidade de sujeitar os equipamentos a calibração/verificação anual em toda a gama de medição. Esta pode ser executada pelo próprio fabricante, por um utilizador, desde que cumpra com a metodologia estipulada pelo fabricante, ou por um laboratório acreditado para o efeito.

2.5.2. Definição de Zonas e Locais de Amostragem

Para além da escolha da metodologia, o Despacho nº 1618/2022, de 9 de fevereiro, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática (2022), descreve a forma como deverá ser feita a definição das zonas e locais de amostragem. De acordo com o ponto 1.5.1, os espaços que forem semelhantes entre si devem ser agrupados e deverá ser efetuada pelo menos uma amostragem de cada um. Para a junção, estes devem ser semelhantes nos seguintes critérios:

- a. Tipo de ventilação (natural, mecânica ou mista)*;
- b. Tipos e níveis de atividades;
- c. Cargas térmicas;
- d. Fontes de emissão de poluentes;
- e. Compartimentação e organização

*se os espaços forem servidos de ventilação mecânica por Unidade de Tratamento de Ar (UTA) / Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) distintas, deverão ser considerados como zonas distintas.

Importa referir que, espaços onde existam queixas registadas, deverão ser considerados como zonas distintas e, por isso, realizar-se pelo menos uma amostragem de cada um.

Para além da zona de amostragem, é necessário definir também os locais ou pontos de amostragem e, como tal, devem obedecer às seguintes regras:

- a. O número mínimo de amostras a efetuar em cada zona (para qualquer poluente exceto o radão) deve ser calculado através da expressão:

$$N_i = 0,15 \times \sqrt{A_i}$$









onde:

N_i – nº de pontos na zona i ($N_i \geq 1$)

A_i – área ocupada da zona i, em m²

- b. Os locais deverão ser representativos de todo o espaço;
- c. **Nos estabelecimentos escolares, todas as salas ocupadas em permanência, deverão ser alvo de avaliação.**

Após definição das zonas de amostragem e escolha dos locais a realizar medição, é relevante que seja dado cumprimento a determinados aspetos que implicam a correta realização da amostragem, como:

	Durante as atividades de rotina e funcionamento normal do edifício
	Pelo menos 1h após o início das atividades e arranque do sistema AVAC (se aplicável)
	Durante um período que garanta a estabilização dos equipamentos e a representatividade das amostras, num mínimo de 30 minutos (para os poluentes FQ)
	Ao nível das vias respiratórias dos ocupantes, de 0,5 a 1,5 m acima do pavimento, para ocupantes sentados <i>Nota: nos EEE a referência deve ser a posição das crianças</i>
	A pelo menos 1 – 2 m das paredes, janelas, portas, divisórias ou barreiras verticais
	A uma distância superior a 1 m das fontes de emissão de poluentes
	Não existir influência direta de grelhas de insuflação, difusores de ar, ventoinhas ou aquecedores
	No exterior dos edifícios com ventilação mecânica, garantir que os equipamentos se encontram a pelo menos 1 m da entrada de ar para a UTA e a 1 – 1,5 m acima do pavimento

2.5.3. Critérios de Conformidade

Após o término das medições dos poluentes anteriormente elencados, é necessário comparar os resultados obtidos com os limiares de proteção e margens de tolerância, se aplicável, legalmente definidos, para os poluentes físico-químicos, no Anexo I da Portaria nº 138-G/2021, de 1 de julho, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática (2021), conforme consta da Tabela 6.

Tabela 6 – Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos (Adaptado da Portaria nº 138-G/2021)

Poluente	Limiar de Proteção	Margem de tolerância (%)
PM ₁₀	50 µg/m ³	100
PM _{2,5}	25 µg/m ³	100
COV	600 µg/m ³	100
CO	10 µg/m ³	-
	9 ppmv	-
CH ₂ O	100 µg/m ³	-
	0,08 ppmv	-
CO ₂	2250 mg/m ³	30
	1250 ppmv	-
Radão	300 Bq/m ³	-

Pela tabela anterior, pôde verificar-se os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos. Na Tabela 7 pode verificar-se as condições de referência para os poluentes microbiológicos.

Tabela 7 – Condições de referência para os poluentes físico-químicos (Adaptado da Portaria nº 138-G/2021)

Poluente	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias	Ar	UFC/m ³	Concentração de bactérias totais no interior do espaço inferior à concentração no exterior (acrescida de 350 UFC/m ³)
Fungos	Ar	UFC/m ³	Concentração de fungos no interior do espaço inferior à detetada no exterior

Além do já exposto, importa referir que, na Tabela IV, do Anexo I da portaria supramencionada, encontram-se também descritas as condições específicas de conformidade para os fungos, com base na perigosidade de cada um.

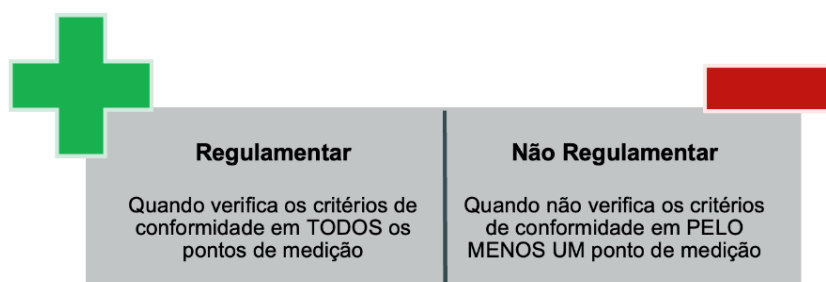
Ora, para verificação da conformidade legal dos resultados obtidos, é por isso necessário aplicar os seguintes critérios:

- ▽ $[\text{Poluente}]_{\text{Max}} \leq [\text{Poluente}]_{\text{LP}}$ (onde $[\text{Poluente}]_{\text{Max}}$ é o valor máximo das concentrações médias obtidas em todos os pontos de amostragem e $[\text{Poluente}]_{\text{LP}}$ é o limiar de proteção do poluente);
- ▽ Para edifícios existentes ou novos sem sistemas de ventilação mecânica, pode ser considerada uma margem de tolerância (MT), dando cumprimento ao critério $[\text{Poluente}]_{\text{Max}} \leq [\text{Poluente}]_{\text{LP}} \times (1 + \text{MT})$;
- ▽ A conformidade é atestada pela **verificação do cumprimento** das condições elencadas acima;
- ▽ Para efeitos de conformidade legal, não se considera a incerteza associada à medição.

Em relação, particularmente, aos COV, é de referir que estes carecem de maior atenção pois deverão adotadas diferentes medidas em caso de cumprimento ou incumprimento do limiar de proteção:

- ▽ **Cumprimento do Limiar de Proteção:** Realização de nova avaliação para efeitos de fiscalização ou avaliação voluntária;
- ▽ **Incumprimento do Limiar de Proteção:**
 - Levantamento de fontes prováveis de contaminação;
 - Identificar os COV específicos potencialmente presentes (avaliação qualitativa);
 - Identificar potenciais efeitos dos COV identificados, para a saúde;
 - Avaliar possibilidade de eliminar as fontes de contaminação ou adotar meios para controlar a exposição;
 - Realizar nova medição, com quantificação dos COV específicos identificados, para verificar a eficácia das medidas;

Efetuar nova avaliação de conformidade e comparar com os valores legalmente definidos. Em suma, após verificação dos elementos supra, podemos classificar o edifício como:



2.5.4. Relatório de Avaliação da QAI

Este documento tem como principal objetivo reunir a informação colhida no terreno e evidenciar os resultados obtidos, após o seu tratamento, tanto no âmbito da ASA, como das avaliações para fiscalização ou voluntária. Assim, entre outros aspetos que sejam considerados pertinentes, devem ser incluídos:

- ⇒ Identificação do edifício/fração e localização (com coordenadas cartesianas e morada);
- ⇒ Horário de funcionamento;
- ⇒ Identificação da entidade ou laboratório responsável pela medição (quando são utilizados os métodos com amostragem de ar em matriz e posterior determinação analítica);
- ⇒ Explicação relativa à definição das zonas de estudo, cálculo do número de pontos de medição e escolha da sua localização;
- ⇒ Fotografias ou outros documentos identificativos dos locais de amostragem;
- ⇒ Data e hora a que se realizou a amostragem;
- ⇒ Poluentes determinados;
- ⇒ Metodologia utilizada (identificando equipamentos, com respetivos dados relativos à sua calibração/verificação);
- ⇒ Resultados obtidos;
- ⇒ Análise de resultados;
- ⇒ Conclusões (incluindo medidas para melhoria da QAI, se necessário).

O relatório deverá, quando concluído, ser apresentado à entidade fiscalizadora para verificação da conformidade dos resultados da avaliação simplificada anual, para que possam ser detetadas eventuais não conformidades no referente ao cumprimento dos limiares de proteção e/ou condições de referência (Decreto-Lei nº 101-D/2020, de 7 de dezembro, da Presidência do Conselho de Ministros, 2020). Neste âmbito, é também recolhida informação relativa à eventual degradação da QAI, pelo incumprimento dos valores legalmente admitidos, à ausência de realização da ASA obrigatória e ao registo de queixas/reclamações/denúncias sobre a qualidade do ar interior. Nesta perspetiva, caso se verifiquem não conformidades, a entidade fiscalizadora emite um relatório, que vincula os proprietários a tomarem as medidas necessárias à melhoria da QAI, onde consta o respetivo prazo de implementação e apresentação dos resultados efetivos destas ações.

2.6 Estabelecimentos Escolares e de Ensino e a Problemática da QAI neste tipo de Edifícios

A qualidade do ar interior em escolas é essencial à saúde dos alunos e a manutenção de um ambiente escolar saudável contribui para o aumento do desempenho escolar dos mesmos.

As escolas são estabelecimentos cujo principal objetivo passa por fornecer o ambiente ideal às crianças e jovens de forma a que se desenvolvam intelectualmente e também ao nível do conhecimento e são o principal foco das atividades sociais deste público. Olhando para uma sala de aula, é possível constatar que estas apresentam uma taxa de ocupação de aproximadamente quatro vezes superior aos escritórios (Katafygiotou & Serghides, 2014). Desta forma, a manutenção de uma boa QAI nas salas de aulas é essencial tanto para os alunos como para os professores, visto que em ambos os grupos, embora com impactos diferentes, pode ser afetada a saúde, o desempenho, a capacidade de concentração e o conforto, fatores que se revelam preponderantes para um desempenho eficaz.

As crianças e os jovens apresentam, por si só, uma maior predisposição para o desenvolvimento de doenças diretamente relacionadas com a poluição do ar interior, considerando que o seu corpo ainda se encontra em desenvolvimento, nomeadamente os órgãos e respetivos sistemas, assim como pelo tempo que permanecem no interior dos edifícios.

A eficiência com que as $PM_{2,5}$ se depositam no trato nasal de uma criança é de apenas 50% em relação aos adultos, porém, considerando a razão entre o volume inspirado e o peso das crianças, constata-se que estas inspiram 2,0 a 3,2 vezes mais volume do que os adultos (Cai et al., 2021).

Segundo a WHO (2009), existem alguns fatores que corroboram o descrito acerca da poluição do ar revelar-se mais perigosa para estes público, devido a:

- a) Os pulmões ainda são imaturos e os tecidos ainda não se encontram totalmente desenvolvidos;
- b) Grande parte do seu tempo é passado no interior dos edifícios;
- c) Podem ter mais facilmente contacto com poluentes ambientais, por desconhecimento do risco associado;
- d) O volume de ar respirado, por peso corporal, é superior.

Como já referido ao longo deste documento, existem diversos fatores que contribuem, na sua essência, para uma fraca QAI. Os tipos de materiais utilizados nas construções dos edifícios, as próprias construções mal concebidas, o mobiliário, as tintas e colas utilizadas tanto no edifício como para os trabalhos desenvolvidos pelos alunos, a exposição a temperaturas desajustadas, as infiltrações e humidades, a utilização de produtos de limpeza assim como os próprios processos de

limpeza inadequados, entre outros, revelam-se fontes potenciadoras de uma pobre qualidade do ar interior.

As crianças e os jovens representam, tal como os idosos, um grupo de risco, pois estão entre a população mais vulnerável para o desenvolvimento de doenças do foro respiratório, considerando que nestas idades o ar poluído, ao entrar nos pulmões, pode inibir o seu crescimento (Abhijith et al., 2022). Além destes efeitos, a poluição do ar interior pode também conduzir a uma exacerbação da asma, bronquite, outras doenças respiratórias e até problemas comportamentais, afetando negativamente a saúde do cérebro, a função cognitiva e, conseqüentemente, o desempenho académico (Abhijith et al., 2022; Almeida et al., 2010; Annesi-Maesano et al., 2013; Gennaro et al., 2014).

Existem vários estudos que apontam a poluição do ar interior como um dos principais riscos ambientais em termos de saúde pública, que tem vindo a crescer nos últimos anos. Uma má QAI, nas escolas, pode causar doenças respiratórias em milhões de alunos em todo o mundo e, com a agravante provocada pela pandemia, exigir ações cada vez mais urgentes para enfrentar o peso dos seus impactos, a curto e longo prazo (Sadriadeh et al., 2022). Esta pobre QAI é largamente atribuída a (Chan et al., 2020; Clements-Croome et al., 2008; Wargocki et al., 2020):

- ⇒ taxas de ventilação inadequadas na maioria das salas;
- ⇒ problemas ao nível da manutenção e limpeza;
- ⇒ taxas de ocupação elevadas que habitualmente se verificam nestes espaços.

Portugal, com a publicação do Programa Nacional de Saúde Escolar através da Norma nº 015/2015, de 12 de agosto, da Direção-Geral da Saúde (2015), definiu objetivos com o intuito de promover e oferecer um ambiente escolar seguro e saudável, aquele onde os estudantes e restante comunidade educativa são protegidos face aos perigos que podem conduzir a doença futura ou incapacidade.

2.7 Medidas de Prevenção e Correção

De acordo com o desenvolvido ao longo deste documento, é possível constatar que existe uma necessidade premente de serem aplicadas medidas de mitigação da poluição do ar interior. Considerando que esta poluição está fortemente associada às más condições de ventilação, é sugerido que se promovam as condições de arejamento e ventilação eficientes (recorrendo a sistemas naturais e/ou mecânicos), sendo benéfico e possivelmente mais adequado a prática de abertura de janelas e portas, de forma controlada, recomendando-se o uso de janelas basculantes promovendo a diminuição dos poluentes no interior dos edifícios (Branco et al., 2015a, 2015b; Canha et al., 2014; Carreiro-Martins et al., 2014; Ferreira & Cardoso, 2014; Mainka & Zajusz-Zubek, 2015; Nunes et al., 2015, 2016; Turanjanin et al., 2014).

Segundo Turanjanin et al. (2014), ao aumentar a frequência e o tempo de abertura das janelas, encontramos uma solução temporária eficaz para a redução das concentrações de CO₂ no interior das salas de aula. Além disso, Vassura et al. (2015) constatou que a abertura das janelas antes do início das aulas, ou seja, antes da chegada das crianças e durante o dia, nos períodos em que estas e os próprios professores não estão a usufruir dos espaços, permitiu verificar concentrações baixas de poluentes no interior.

Embora não muito comum, também os equipamentos e materiais utilizados nas salas de aula constituem fontes emissoras de poluentes. Assim sendo, uma das medidas a adotar nestes estabelecimentos poderá passar por substituir as carpetes e pavimentos alcatifados por material liso, higienizável e impermeável, bem como aumentar a frequência de limpeza de cortinas e roupas (Mainka & Zajusz-Zubek, 2015; Yang et al., 2015).

Outra medida considerada relevante para a melhoria da qualidade do ar interior é realizar as ações de limpeza, alterando o horário em que estas se efetuam, preferencialmente em horário pós-laboral, ou seja, no final do período de ocupação (Branco et al., 2015b; Madureira et al., 2015; Mainka & Zajusz-Zubek, 2015). Além disso, deve proceder-se à alteração dos produtos utilizados que apresentam maior risco de constituir uma fonte de emissão de poluentes por produtos com menor risco e promover a prática de técnicas que evitem ou diminuam o levantamento de poeiras, como a utilização de aspirador e panos húmidos ou, em casos mais específicos, a contratação de equipas especializadas nestas operações (Mainka & Zajusz-Zubek, 2015; Nunes et al., 2016; Yang et al., 2015).

Além das medidas enunciadas no respeitante a procedimentos e técnicas a adotar, existem outras medidas relacionadas que poderão ser tão ou mais importantes. É o caso da adequação da densidade populacional nestes espaços, a promoção de mais pausas e a realização de um maior número de atividades ao ar livre, diminuindo o tempo de permanência dos alunos no interior dos espaços (Carreiro-Martins et al., 2014; Chatzidiakou et al., 2014; Madureira et al., 2015; Mainka & Zajusz-Zubek, 2015). Os mesmos autores sugerem, também, o controlo eficiente das condições associadas ao conforto térmico, recorrendo, por exemplo, ao uso de aquecedores e sistemas AVAC adequados e a substituição de materiais de construção utilizados, sempre que possível.

Segundo a EPA (2009), existem seis métodos de controlo básicos a aplicar em relação aos poluentes do ar interior em escolas, conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8 – Métodos básicos de controlo das fontes de poluentes (Adaptado de EPA, 2009)

Gestão/Controlo de Fontes	<p>É a estratégia de controlo mais eficaz e inclui:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Remoção de fontes (não permitir ou eliminar a entrada de fontes nas escolas) ▪ Redução de fontes (melhorar a tecnologia e/ou materiais para reduzir as emissões) ▪ Substituição das fontes (substituir as fontes poluentes por outras menos ou não poluentes) ▪ Encapsulamento da fonte (colocar uma barreira em torno da fonte de forma que seja libertado menos poluente para o ar)
Exaustão localizada	Remoção de fontes de poluentes pontuais (como por exemplo, na cozinha)
Ventilação	Tem como principal objetivo diminuir a concentração dos poluentes no interior dos edifícios
Purificação do ar	Diz respeito à filtração do ar através da sua passagem por filtros colocados no sistema de ventilação
Controlo da exposição	<p>Passa por ajustar os períodos e locais de utilização de fontes de poluição, com base em:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo de utilização (evitar a utilização das fontes poluentes quando a escola estiver ocupada) ▪ Quantidade utilizada (utilizar tão menos quanto possível, diminuindo a poluição)
Controlo da exposição	Local da utilização (mover as fontes de poluição para tão quanto possível dos ocupantes ou movê-los para longe destas fontes)
Educação	Formar e informar os ocupantes sobre a QAI, pois podem reduzir a sua exposição, caso compreendam a necessidade de manter um ambiente saudável e seguro, se souberem quais as formas de prevenir, eliminar ou controlar os poluentes

De acordo com o guia criado por Kumar et al. (2020), para crianças, escolas e comunidades locais, considerando que a poluição do ar interior é afetada também por fontes externas, são sugeridas as seguintes medidas:

- Criar uma zona de ar limpo na envolvente das escolas (com diminuição da libertação de gases produzidos pelos automóveis nas imediações das escolas, por exemplo);
- Considerar a qualidade do ar nas salas de aula (utilizar ventilação mecânica e filtração do ar adequadas, reduzindo a acumulação de partículas nocivas e outros poluentes, como o CO₂);

- “Vá caminhando para a escola” (sempre que isto for seguro, permite reduzir o tráfego e, conseqüentemente, a poluição do ar, mas também permite passar mais tempo no exterior, considerando o grande número de horas que passam em espaços fechados);
- Considerar a instalação de meios de monitorização de monóxido de carbono nas salas de aula, nos casos em que seja comprovadamente oportuno;
- Proporcionar a entrada de ar fresco nos espaços em modo prevenção e caso sejam percecionados níveis elevados de dióxido de carbono entre os professores e as crianças (avaliados pela presença de cansaço, sonolência, cefaleias, tonturas, entre outros);
- Promover uma adequada manutenção dos sistemas AVAC, através de profissionais especializados;
- As escolas devem fomentar o conhecimento dos pais no que concerne a questões relacionadas com a qualidade do ar interior, sugerindo que, nos tempos livres, permitam às crianças usufruir de momentos ao ar livre e em convivência com a Natureza;
- Estes estabelecimentos devem ser parceiros de cooperação para o desenvolvimento de estudos e recolhas de dados referentes a esta matéria, procedendo a implementação de medidas e partilhando os dados obtidos e o sucesso das medidas implementadas, com a comunidade, promovendo assim a melhoria contínua.

Neste seguimento, surge o projeto SINPHONIE, que tem como principal objetivo produzir diretrizes e medidas corretivas, tendo em vista a qualidade do ar em ambiente escolar, abrangendo uma ampla gama de situações na Europa, e disseminar essas orientações para as partes interessadas (Csobod et al., 2014). Assim, com base na monitorização da QAI e na avaliação do estado de saúde dos alunos de várias escolas europeias, o projeto SINPHONIE categorizou em seis grupos as medidas consideradas pertinentes a adotar (Csobod et al., 2014):

- I. **Monitorização da QAI:** monitorizar a concentração de poluentes no interior dos edifícios e implementar as medidas adequadas à sua diminuição ou eliminação;
- II. **Boas práticas de ventilação:** estas permitem diminuir as concentrações de CO₂ no ar, influenciando positivamente as capacidades de aprendizagem das crianças. Deverá ser adequada a duração das aulas e a abertura de janelas pode ser o suficiente para melhorar a QAI;
- III. **Utilização de produtos/materiais com menor risco:** os materiais de construção, mobiliário e produtos como colas e tintas, que constituam risco de afetar negativamente a QAI, devem ser substituídos por outros de risco diminuído ou inexistente (recomendando-

se a utilização de produtos/materiais de base aquosa e com rotulagem/etiquetagem das emissões.

- IV. Requisitos de higiene para procedimentos e frequência de limpeza:** promover técnicas adequadas e uso de produtos adequadamente diluídos, realizando estes procedimentos ao fim do dia/semana;
- V. Consciencialização e Sensibilização:** sensibilizar a comunidade educativa através de formações sobre limpeza, uso de boas práticas de higiene, características de certos produtos de construção e de materiais de trabalhos manuais podem ter impacto na QAI;
- VI. Realização de intervenções técnicas:** planear a sua realização garantindo a prevenção bem como a implementação de medidas técnicas economicamente mais viáveis.

Uma das medidas consideradas mais oportunas é o uso de sensores nas escolas, cada vez mais um meio que permite efetivas melhorias ao nível da QAI. Segundo Silva et al. (2009), recorrer a esta medida permite medir, controlar, alertar e informar quanto à presença de poluentes no interior dos espaços. Com o avanço tecnológico marcado pela crescente utilização de meios digitais como tablets, smartphones e computadores portáteis estão hoje facilitadas estas tomadas de decisão que, no passado, se viam bastante mais limitadas e obrigavam a despende de um maior volume de dinheiro.

2.8 Projetos Europeus e Portugueses sobre QAI

Nas duas últimas décadas, a Europa tem vindo a apostar nos estudos sobre QAI, tendo com isso aumentado o número de publicações sobre esta temática, pelo que se passam a elencar os constantes na Tabela 9.

Tabela 9 – Projetos de investigação europeus sobre QAI

Título do Projeto	Acrónimo	Principal Objetivo
<i>Towards Health Air in Dwellings in Europe</i>	THADE (2001 - 2003)	Investigar a associação entre poluentes do ar interior e doenças respiratórias
<i>Critical appraisal of setting and implementation of indoor exposure limits in EU</i>	INDEX (2002 - 2004)	Identificar uma lista de compostos prioritários, com base em critérios de impacto sobre a saúde
<i>Health Effects of Schools Environment</i>	HESE (2002 - 2005)	Relacionar a alta presença de partículas, fungos e alérgenos com a fraca ventilação em escolas
<i>European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Project</i>	AIRMEX (2003 -)	Identificar e quantificar os principais poluentes do ar em edifícios públicos, incluindo escolas e jardins-de-infância, e estimar a exposição da população e possíveis efeitos na saúde, por exposição crónica
<i>Ranking indoor air health problems</i>	IAQ ranking / VITO (2004 - 2008)	Realizar uma revisão dos dados relativos à exposição a poluentes do ar interior
<i>Prioritization of BUilding MAterials as indoor pollution sources</i>	BUMA (2006 - 2009)	Criar uma base de dados sobre as emissões dos materiais de construção, priorizar os materiais a utilizar de acordo com os fatores de emissão e desenvolver orientações para a criação de novas políticas
<i>Co-ordination action on Indoor Air Quality and Health Effects</i>	EnVIE (2005 - 2007)	Aumentar a compreensão dos impactos da qualidade do ar interior na saúde pública, em toda a Europa
<i>Health Effects of Indoor Pollutants</i>	HITEA (2008 -)	Identificar o papel dos agentes biológicos no interior em relação ao desenvolvimento de doenças respiratórias a longo prazo, reações inflamatórias e alérgicas em crianças
<i>Schools Indoor Pollution and Health: Observatory Network in Europe</i>	SINPHONIE (2010 - 2012)	Definir recomendações políticas sobre medidas corretivas no ambiente escolar
<i>Quality indoor air on modern office buildings</i>	OFFICAIR (2017)	Reduzir os efeitos na saúde provocados pela exposição combinada a poluentes atmosféricos interiores em escritórios
<i>Climact – Acting For The Transition To A Low Carbon Economy In Schools – Development Of Support Tools</i>	ClimACT (2017 - 2019)	Criar ferramentas educacionais e de apoio à decisão, desenvolver novos modelos de negócio e potenciar uma rede temática “escolas baixo carbono”

Em Portugal, concretamente, foram também desenvolvidos estudos sobre esta temática nomeadamente:

- ▽ *Development of innovate analyses for monitoring indoor air quality and its impact on children's health (2022)* – investigar o estado da qualidade do ar nas escolas e o impacto que este tem na cognição na infância, avaliando a presença de biomarcadores no ar e o seu impacto;
- ▽ FUTURAR (2019 – 2030) – qualidade do ar em Portugal, da Fundação para a Ciência e Tecnologia. Este projeto tem como principal objetivo investigar os impactos na qualidade do ar, custos e benefícios das projeções de redução de emissões para o ano 2030, em Portugal;
- ▽ SAUDAR (2004) – Qualidade do ambiente e saúde pública, da Universidade de Aveiro, financiada pela Fundação Calouste Gulbenkian. Este estudo baseou-se na avaliação de cerca de 60 crianças asmáticas do 1º ciclo do ensino básico das escolas de Viseu, com o intuito de analisar a relação entre a qualidade do ar (interior e exterior) e a saúde humana.

3. Métodos

De forma a ser dada resposta aos objetivos propostos colocou-se a seguinte questão de investigação: **Quais são os principais fatores e poluentes identificados em estabelecimentos escolares e de ensino e quais os efeitos desses na saúde das crianças e jovens que os frequentam?**

Para responder a esta questão foi efetuada uma revisão sistemática da literatura cujos processos utilizados se passam a descrever.

3.1. Recolha de Dados

A pesquisa bibliográfica iniciou-se a 21 de abril de 2022 e teve por base a identificação e aplicação de palavras-chave para limitar os itens pesquisados. As palavras-chave utilizadas para esta pesquisa foram “Qualidade do Ar Interior” (*Indoor Air Quality*), “Escola” (*School*), “Poluentes” (*Pollutants*) e “Poluição do Ar Interior” (*Indoor Air Pollution*). Foram, para isso, consultadas as bases de dados B-On (2015–presente), PubMed (2015–presente), ScienceDirect (2010–presente) e Google Scholar (2018–presente).

Desta pesquisa foram encontrados 128 estudos científicos considerados relevantes.

3.2. Seleção dos Estudos

A seleção dos estudos foi efetuada, essencialmente, em duas etapas. A primeira consistiu na triagem dos documentos tendo por base a pertinência do título e do resumo. Dos 128 artigos recolhidos foram excluídos 28, após a leitura do título e do resumo. Todos os documentos que demonstraram, através destes dois itens, não corresponder às necessidades da revisão, foram imediatamente descartados. A segunda triagem assentou, fundamentalmente, na leitura íntegra dos artigos que se mostraram relevantes na primeira fase,

com o intuito de serem consideradas apenas as publicações que atendessem aos critérios de elegibilidade. No decorrer desta foram sendo excluídos os artigos que não atendiam a estes critérios. Dos 100 sobranes da primeira etapa, foram excluídos 77, de acordo com os critérios primários de exclusão definidos, nomeadamente não estarem escritos em português ou inglês (n=9), pelo material publicado (n=17), por não abordar questões da qualidade do ar interior em escolas (n=22) e por terem data de publicação inferior a 2010 (n=29). Após as exclusões, foram incluídos 23 artigos científicos resultantes da fase de pesquisa. Todos os artigos respeitam os critérios de elegibilidade:

- ▽ Serem escritos em português ou inglês;
- ▽ Consistirem em material original publicado, como artigos de revisão, livros, capítulos de livros, diretrizes, legislação e manuais;
- ▽ Abordarem “Qualidade do Ar Interior” e/ou “Escolas”;
- ▽ Terem data de publicação posterior a 2010.

Foram selecionados todos os artigos encontrados que abordavam o tema da QAI em EEE, sendo o critério de exclusão a ausência de referência da temática em apreço neste tipo de estabelecimentos.

4. Resultados

A pesquisa bibliográfica efetuada resultou num total de 128 documentos. Destes, 28 foram automaticamente excluídos após leitura e análise do título e resumo, por não apresentarem relevância para o estudo. Dos 100 documentos selecionados, após esta triagem, foram excluídos 77, nomeadamente por não estarem escritos em português ou inglês (n=9), por não consistirem em material publicado (n=17), por não abordarem a temática da QAI e os EEE (n=22) e por terem data de publicação inferior a 2010 (n=29), conforme descrito na Figura 4.

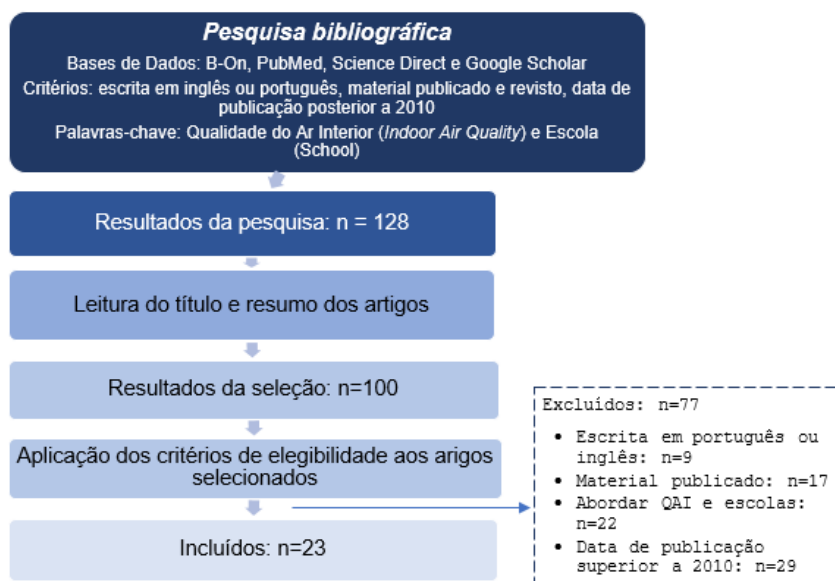


Figura 4 - Esquema da Revisão Sistemática

Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos após a análise mais detalhada dos artigos resultantes da pesquisa supramencionada. A maior parte deles (14) corresponde à avaliação, caracterização e/ou determinação da QAI, e dos restantes, 4 dedicam-se a avaliar o efeito da poluição do ar interior com o objetivo de determinar se existe associação entre a QAI e patologias alérgicas e respiratórias nas crianças, correspondem a avaliação da QAI, 2 caracterizam as concentrações de COV, sendo que um destes também mede a presença de PM, 1 tem como principal objetivo comparar o consumo de energia, a ventilação e os poluentes existentes e averiguar a percepção dos alunos face à QAI, 2 têm como foco avaliar as taxas de ventilação nas salas de aula, considerando a presença de CO₂ (presença humana) e a utilização de marcador ou giz. São maioritariamente estudos europeus, destacando-se esta prevalência em 18 artigos desenvolvidos, com exceção de 5, onde 3 foram desenvolvidos na Ásia (Coreia do Sul (2) e Malásia (1)), 1 na Oceânia (Austrália) e 1 na América (Estados Unidos da América), conforme se verifica na Figura 5, e datam do período de 2010 a 2022. Destaca-se ainda que 7 dos 23 artigos analisados desenvolveram-se em Portugal, nomeadamente em Bragança, no Porto e em Lisboa.

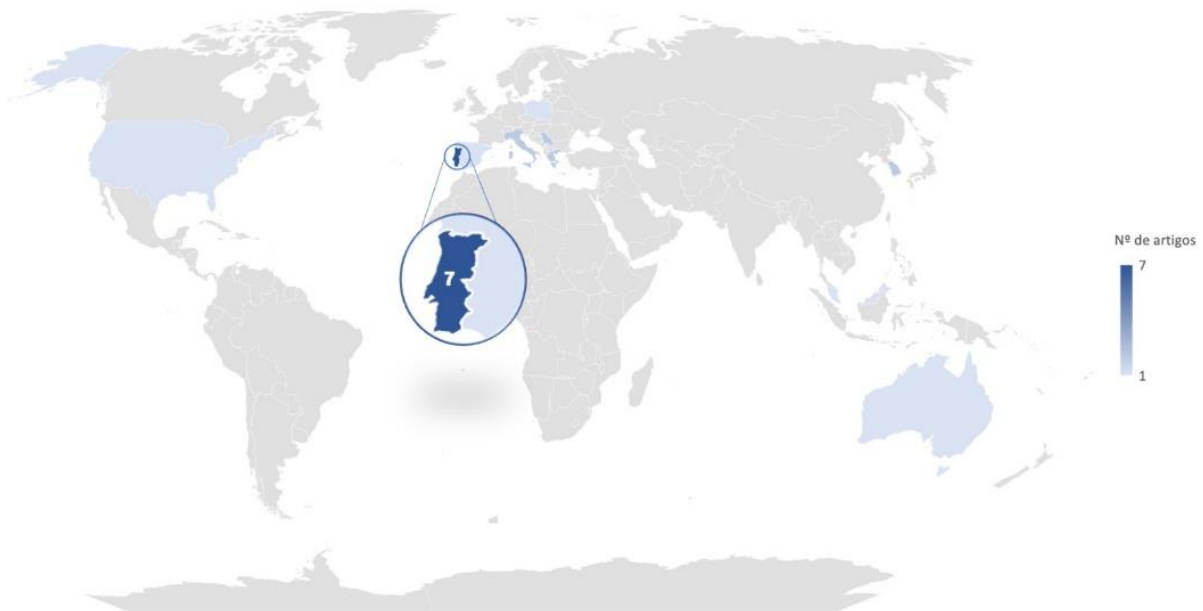


Figura 5 – Nº de artigos analisados por país

Tabela 10 – Principais Objetivos e Resultados dos estudos analisados

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
<i>A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools</i>	(Dorizas et al., 2015a)	Escolas primárias: 9 – 193 alunos	04/2013 a 05/2013	Avaliar a QAI das salas de aula do ensino primário com base em medições, averiguar a percepção dos alunos e correlacionar os resultados com as medições efetuadas e investigar o impacto no desempenho da aprendizagem e saúde dos alunos	A maioria dos estudantes estava satisfeita com a QAI, acreditando que esta melhorava o seu desempenho, considerando o ar como ideal, fresco e inodoro. Notou-se uma prevalência de alergias, irritação nasal e fadiga, sobretudo nas raparigas, relacionados com os níveis de concentrações de PM e CO ₂ .
<i>Assessment of Indoor Pollution in a School Environment through both Passive and Continuous Samplings</i>	(Vassura et al., 2015)	Creches/Infantários/ Jardins de Infância: 1 sala – 21 alunos Escolas primárias: 1 sala – 19 alunos	Inverno (03/2014) e Primavera (05/2014)	Avaliar a QAI num instituto educacional	A utilização de amostradores passivos mostrou-se adequado e demonstrou que as salas de aula apresentam baixa concentração de poluentes. As tendências diárias confirmam que os COV têm principal origem no interior.
<i>A Victorian school and a low carbon designed school: Comparison of indoor air quality, energy performance, and student health</i>	(Chatzidiakou et al., 2012)	Escolas primárias: 2 – 1 suburbana (3 salas) e 1 urbana (3 salas) – 141 alunos	11/2011	<i>Comparar o consumo de energia, a ventilação e os níveis de poluentes em salas de aula e visa associar a exposição dos alunos com a sua saúde e percepção da QAI.</i>	<i>Relevante para definição de locais estratégicos, este estudo revelou que a proximidade a ruas de tráfego intenso afeta a exposição dos alunos a NO₂, fator contributivo para o aumento da asma. Taxas de ventilação adequadas podem reduzir o sobreaquecimento, os sintomas do SED, e melhorar a satisfação face à QAI.</i>

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
<i>Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain</i>	(Rivas et al., 2014)	Escolas primárias: 39 (no interior com alunos e no recreio) em meio urbano e junto a tráfego automóvel intenso	01/2012 a 06/2012 e 09/2012 a 02/2013	Caracterizar a Qualidade do Ar Interior e Exterior e a sua variabilidade, dando ênfase aos parâmetros afetados pelas emissões do tráfego automóvel	A medição de PM _{2,5} mostrou nitidamente valores muito superiores no interior face ao exterior, o que sugere uma grande influência de fontes internas. As concentrações de NO ₂ , 1,2 vezes maiores no interior, sugerindo a proximidade de algumas escolas a zonas de elevado tráfego, levando a uma exposição 20% mais elevada das crianças.
<i>An integrated evaluation study of the ventilation rate, the exposure and the indoor air quality in naturally ventilated classrooms in the Mediterranean region during spring</i>	(Dorizas et al., 2015b)	Escolas primárias: 9 (ventilação natural) – 1443 alunos	Primavera de 2013	Analisar as taxas de fluxo de ar das salas de aula naturalmente ventiladas em climas quentes e os níveis de concentração dos principais poluentes do ar interior, investigar os fatores externos que afetam a QAI e perceber qual a percepção dos alunos e identificar se a presença humana, a taxa de ventilação e o uso de giz ou marcador tem influência	Em todas as escolas, foram superadas as taxas mínimas de ventilação recomendadas (sinónimo de boa ventilação). Os níveis de CO ₂ variaram entre 893 e 2082 ppm, estando diretamente e indiretamente relacionados com o número de alunos e com as taxas de ventilação, respetivamente. Concentrações de PM ₁₀ mais elevadas foram associadas a escolas com maior número de alunos, menor ventilação e que usam giz em vez de marcador. Já para o CO e COV, constatou-se que as salas onde se utilizavam marcadores eram as que detinham maiores níveis.
<i>Indoor CO₂ measurements in Serbian schools and ventilation rate calculation</i>	(Turanjanin et al., 2014)	Escolas primárias: 5 (1 em meio rural, 3 em pequenas áreas urbanas e 1 em grandes áreas urbanas) – 20 a 30 alunos	12/2011 a 04/2012	Calcular a taxa de ventilação com base na atenuação da concentração de CO ₂	A medição de CO ₂ revelou, em cerca de metade do período de ocupação das salas, níveis superiores a 1000 ppm, diretamente relacionado com uma ventilação inadequada.

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
<p><i>Children's exposure to indoor air in urban nurseries-part I: CO₂ and comfort assessment</i></p> <p><i>Children's exposure to indoor air in urban nurseries-part II: Gaseous pollutants assessment</i></p>	<p>(Branco et al., 2015a)</p> <p>(Branco et al., 2015b)</p>	<p>Creches/Infantários/Jardins de Infância: 4 Alunos + Staff</p>	<p>02 a 11/2013</p>	<p>Avaliar as concentrações de CO₂, temperatura e humidade relativa em infantários do meio urbano e analisar nos resultados de acordo com diretrizes e referências para a qualidade e conforto do ar interior e a saúde das crianças.</p>	<p>Foram verificadas baixas temperaturas e humidades relativas elevadas. A concentração de CO₂, CH₂O e COV excederam várias vezes a legislação portuguesa. As concentrações de CO, NO₂ e O₃ parecem ser influenciadas pelo exterior. Verificou-se também a presença elevada de PM, principalmente para as frações mais finas, excedendo os valores recomendados.</p>
<p><i>CO₂ concentration in day care centres is related to wheezing in attending children</i></p>	<p>(Carreiro-Martins et al., 2014)</p>	<p>Creches/Infantários/Jardins de Infância: 45 (25 em Lisboa + 25 no Porto) (foram estudadas 143 das 310 salas existentes – 82 em Lisboa e 61 no Porto) – 3 186 alunos</p>	<p>Fase I – 10 a 12/2010</p> <p>Fase II – 03 a 05/2011 e 11/2011 a 02/2012</p>	<p>Avaliar a associação entre a ocorrência de o sibilo nas crianças e a presença de CO₂ interior, averiguando as características da construção potencialmente relacionados.</p>	<p>A concentração de CO₂ no interior associa-se inversamente à abertura de janelas e portas e a uma maior velocidade do vento. Observou-se uma tendência positiva entre a sua presença e a prevalência de asma, denotando-se uma extrema necessidade de melhorar a ventilação para garantir um ambiente interior mais saudável.</p>
<p><i>Characteristics of indoor air quality at urban elementary schools in Seoul, Korea: Assessment of effect of surrounding environments</i></p>	<p>(Yang et al., 2015)</p>	<p>Escolas primárias: 116 (3 salas em cada uma das escolas – 2 salas de aula e 1 laboratório)</p>	<p>09 a 11/2013</p>	<p>Caracterizar os níveis de poluentes no ar interior das escolas, de forma a comparar a QAI de acordo com os ambientes envolventes</p>	<p>Os níveis de poluentes mostraram-se geralmente baixos devido à pouca ocupação das salas e ventilação natural adequada. Porém, verificou-se que as remodelações levam a níveis mais elevados de COV e CH₂O. O ambiente envolvente influencia a QAI e os níveis de PM₁₀ e bactérias totais encontrados perto de estradas foram menores do que os registados para outros ambientes circundantes devido à dispersão de poluentes, dificultada pela existência de edifícios altos e montanhas.</p>

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
<i>Indoor air quality in schools and its relationship with children's respiratory symptoms</i>	(Madureira et al., 2015)	Escolas primárias: 20 – 1 639 alunos	Inverno (11 a 03 dos anos 2011 a 2013)	Caracterizar a QAI nas escolas e estudar a sua relação com os sintomas respiratórios das crianças	A maioria dos poluentes analisados cumprem com os valores legais, porém níveis elevados de COV, PM _{2,5} e PM ₁₀ estão associados a um risco duas vezes maior de terem sintomas relacionados com a asma ou sintomas semelhantes.
<i>Gaseous pollutants on rural and urban nursery schools in Northern Portugal</i>	(Nunes et al., 2016)	Creches/Infantários/Jardins de Infância: 3	04 a 06 de 2014	Comparar as concentrações de poluentes interiores em creches dos meios rural e urbano, recorrendo a medições contínuas	Foram registadas concentrações de CO ₂ mais elevadas nas creches do meio urbano, devido a uma maior densidade de ocupação. A inexistência de fontes interiores permitiu concluir que a influência do ar exterior foi o principal determinante das concentrações de NO ₂ e O ₃ no interior. Concluiu-se que há necessidade de implementar medidas para reduzir as situações críticas em relação à QAI e conseqüente risco de exposição das crianças, principalmente no contexto urbano.
<i>Indoor Air Pollution Aggravates Symptoms of Atopic Dermatitis in Children</i>	(Kim et al., 2015)	Creches/Infantários/Jardins de Infância: 1 – 76 alunos	05/2009 a 04/2010	Avaliar o efeito da poluição do ar interior associado à prevalência de dermatite atópica nas crianças	Uma taxa de ventilação adequada melhorou significativamente a QAI. Elevadas concentrações de COVT e tolueno podem constituir um fator preponderante no desenvolvimento desta doença. As crianças apresentaram agravamento dos sintomas de dermatite atópica, embora a maioria da concentração dos poluentes se encontrasse abaixo dos níveis de referência da República da Coreia.

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
<i>Indoor Air Quality and Respiratory Health among Malay Preschool Children in Selangor</i>	(Rawi et al., 2015)	Creches/Infantários/Jardins de Infância: 4 (8 salas de aula) – 111 alunos	-	Determinar a QAI e verificar a sua associação face a problemas respiratórios nas crianças	Os resultados da exposição à má QAI e os níveis crescentes de concentrações de poluentes em recintos fechados foram os fatores de risco ocasionam uma redução na função pulmonar e o aumento dos relatos de sintomas respiratórios entre os inquiridos, podendo as concentrações elevadas de PM, COV e CO verificadas estar associadas a pieira.
<i>Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment</i>	(Sadrizadeh et al., 2022)	Escolas primárias	2022	Verificar como os diferentes fatores afetam a QAI e o conforto nas escolas e, por conseguinte, a saúde e o bem-estar dos alunos.	Os alunos tendem a sentir-se confortáveis em climas interiores mais frescos do que os ambientes onde os adultos se sentem termicamente neutros. Uma fraca QAI provocará uma redução no desempenho cognitivo dos alunos, aumentando o absentismo por doença de curta duração. Manter níveis de CO ₂ inferiores a 900 ppm permitem reduzir o impacto negativo na aprendizagem. Os COV estão entre os principais poluentes que causam graves problemas de saúde a crianças e adultos.
<i>Volatile organic compounds and particulate matter in child care facilities in the District of Columbia: Results from a pilot study</i>	(Quirós-Alcalá et al., 2016)	Creches/Infantários/Jardins de Infância: 14 a 193 alunos	-	Caracterizar as concentrações interior de COV e PM em infantários	Níveis significativos de COV, fortemente associados ao uso de lixívia, purificadores de ar e velas perfumadas, e PM foram encontrados nos infantários estudados. As concentrações médias de PM _{2,5} e PM ₁₀ foram de 20,1 µg/m ³ e 26,3 µg/m ³ , respetivamente.

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
<i>Indoor Air Quality in Naturally Ventilated Italian Classrooms</i>	(Fuoco et al., 2015)	Escolas primárias: 3 (6 salas de aula) – 16 a 27 alunos	Inverno de 2014 a 2015 e primavera de 2015	Caracterizar a QAI em salas de aula dotadas de ventilação natural	A QAI é influenciada pela sazonalidade. Denotou-se uma contribuição do exterior face às PM, principalmente na primavera, pela abertura de janelas mais frequente. Como expectável, por existir mais ventilação, os níveis de CO ₂ foram menores na primavera (908 ppm) do que no inverno (2206ppm). Foram ainda detetados níveis significativos de PM ₁₀ durante os intervalos devido à ressuspensão das partículas grossas.
<i>Investigation of indoor and outdoor air quality of the classrooms at a school in Serbia</i>	(Jovanović et al., 2014)	Escolas primárias: 1 (5 salas de aula)	04/2012	Determinar o nível de QAI na escola, caracterizar a concentração da poluição do ar interior e exterior e compará-la com os valores recomendados	A concentração de poluentes no interior foi associada a baixas taxas de ventilação e utilização de tapetes/ pavimentos antigos. Detetaram-se níveis de PM _{2,5} e PM ₁₀ mais elevados no interior. A concentração média de CH ₂ O foi superior ao valor recomendado em todas as salas de aula.
<i>Indoor air quality in urban and rural preschools in upper Silesia, Poland: Particulate matter and carbon dioxide</i>	(Mainka & Zajusz-Zubek, 2015)	Creches/Infantários/Jardins de Infância: 4 (2 em meio rural e 2 em meio urbano) – média de 14 a 21 alunos por sala	Inverno 2013/2014	Avaliar a influência das emissões exteriores na QAI de salas de aula naturalmente ventiladas, dos meios rural e urbano	Verificou-se uma maior prevalência de poluentes no ar interior do que no exterior. As concentrações de todas as frações de PM foram elevadas nas salas dos dois contextos em estudo, tendo sido registados níveis de 102,11 µg/m ³ , 125,69 µg/m ³ , 166,12 µg/m ³ e 184,24 µg/m ³ , para PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ , PM _{Total} . Os níveis de CO ₂ excederam frequentemente os 1000 ppm.

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
<i>Ventilation in day care centers and sick leave among nursery children</i>	(Kolarik et al., 2016)	Creches/Infantários/Jardins de Infância: 20 – 635 alunos	2012 a 2013	Investigar a existência de associação entre as taxas de ventilação e absentismo nas crianças que frequentam infantários	Foram detetados baixos níveis de CO ₂ (concentração média de 643 ppm) nos jardins-de-infância dotados de sistema de ventilação mecânica. Notou-se ainda uma diminuição no número de dias por absentismo (cerca de 12 % por cada aumento de 1 h na taxa de ventilação), sendo indicativo de uma relação entre ambos os fatores.
<i>Particulate matter in rural and urban nursery schools in Portugal</i>	(Nunes et al., 2015)	Creches/Infantários/Jardins de Infância: 4 (3 em meio rural e 1 em meio urbano) – Alunos + Staff	04/2014 a 06/2014	Avaliar e comparar os resultados das concentrações de poluentes interiores nas salas de aula e cantinas/refeitórios de creches dos meios rural e urbano	As concentrações médias de todas as frações de PM foram mais elevadas nas creches urbanas do que nas rurais, possivelmente relacionado com as emissões provocadas pela maior densidade de tráfego automóvel. Os resultados obtidos permitiram concluir que as concentrações registadas dependiam mais significativamente de fontes interiores. As operações de limpeza e da cozinha, bem como a mobilidade das crianças, foram apontadas como as principais causas das concentrações verificadas nos refeitórios.

Título	Autor	Características do estudo	Período de Estudo	Objetivos	Principais resultados
Qualidade do ar interno e saúde em escolas	(Ferreira & Cardoso, 2014)	Escolas primárias: 51 – 1 019 alunos	Outono/inverno (11/2010 a 02/2011) e primavera/verão (03 a 06/2011)	Determinar se há uma associação entre a qualidade do ar interno em escolas e a prevalência de patologias alérgicas e respiratórias nas crianças que as frequentam.	As concentrações médias de CO ₂ no interior das salas de aula (pico de 1942 ppm) mostraram-se acima dos valores limite. Constatou-se a prevalência de sintomas como crises de espirros, rinite alérgica, sibilos e asma. Além destes, também se verificou falta de concentração, tosse, dores de cabeça e irritação das mucosas. De salientar a uma associação estatisticamente significativa entre a falta de concentração e a exposição a valores elevados de CO ₂ .
<i>Volatile Organic Compounds: Characteristics, distribution and sources in urban schools</i>	(Mishra et al., 2015)	Escolas primárias: 25 – Inexistência de alunos e professores nas salas durante as medições	10/2010 a 08/2012	Medir e quantificar as concentrações de COV no ar interior e exterior de escolas primárias urbanas, identificando as suas fontes, e propor medidas de mitigação para reduzir a exposição a este poluente	Verificou-se que, no ar exterior, 47% dos COV advêm dos escapes dos veículos (insignificante nas concentrações do interior). Mais de 80% da sua concentração no interior associa-se aos produtos de limpeza, purificadores de ar e atividades de artísticas.

Segundo os estudos conduzidos por Branco et al. (2015a, 2015b), Kolarik et al. (2016) e Mainka & Zajusz-Zubek (2015), foram verificadas concentrações elevadas de CO₂ em diversas medições, porém verificou-se que estas eram menores na primavera do que no inverno, o que se prende com as baixas taxas de ventilação adotadas nesta estação do ano. Relacionados muito concretamente com este poluente, embora possa também sofrer influência de todos os outros que eventualmente estejam presentes no interior das escolas, nomeadamente nas salas de aula, estão os sintomas associados ao desenvolvimento de doenças do foro respiratório. Os sintomas mais prevalentes nas crianças e jovens, público mais vulnerável neste âmbito, são crises de espirros, rinite alérgica, sibilos e asma (Ferreira & Cardoso, 2014). Segundo a mesma fonte, menos frequente, embora muito presente, é a sintomatologia associada à tosse, dores de cabeça, irritação das mucosas e falta de concentração, sendo esta última fortemente associada a elevadas concentrações de CO₂.

De acordo com Kolarik et al. (2016), onde se tentou estudar a relação entre as taxas de ventilação e as ausências de crianças verificadas à data do estudo, foi possível constatar que a taxa de absentismo e a taxa de ventilação estão diretamente relacionadas. Após terem sido encontrados baixos níveis de CO₂ nos jardins-de-infância que detinham sistema de ventilação mecânica, foram implementadas medidas e verificado que, por cada hora de aumento da taxa de ventilação, existia uma diminuição de cerca de 12% da taxa de absentismo. Ainda relacionado com taxas de ventilação inadequadas, Turanjanin et al. (2014) verificaram que os níveis de CO₂ excediam os 1000 ppm em mais de 50% do período de ocupação das salas de aula e Carreiro-Martins et al. (2014) constataram a existência de valores elevados deste poluente, em várias medições. Os dados existentes sugerem que manter as salas mais frescas, ou seja, mais ventiladas, fazendo a medição da concentração de CO₂ nestes espaços contribui positivamente para uma aprendizagem eficaz (Sadrizadeh et al., 2022).

Esta taxa de ventilação, muitas vezes verificada em níveis inferiores ao legalmente definidos e diretamente relacionada com a concentração de CO₂, está também fortemente associada a um maior número de alunos, visto que quanto maior a densidade populacional verificada numa sala de aula, maior a concentração de CO₂ e, na maioria dos casos, uma menor taxa de ventilação é verificada (Dorizas et al., 2015a). Um outro estudo realizado por Dorizas et al. (2015b), onde foram aplicados questionários e realizadas, paralelamente, medições em nove escolas primárias naturalmente ventiladas em Atenas, na Grécia, permitiu concluir que um dos fatores que mais afeta os ocupantes é a temperatura. Segundo os mesmos autores, constatou-se, novamente, que uma maior concentração de PM₁₀ nas escolas está diretamente relacionada com um maior número de alunos, uma menor taxa de ventilação e com o uso de giz em vez de marcador. Ora, a utilização de diferentes materiais, como o giz ou marcador permanente, também influenciam a presença de poluentes no interior dos espaços e o uso do último em detrimento do primeiro está associado a uma maior presença de CO e COV (Dorizas et al., 2015b). Não só a utilização de giz ou marcador pode fazer variar os níveis de poluentes verificados, pois também a lixívia, os

purificadores de ar e as velas perfumadas parecem estar relacionadas com os níveis de COV (Quirós-Alcalá et al., 2016).

Ainda neste seguimento, os COV podem estar associados a fontes internas ou externas. Mishra et al. (2015) que, após análise em 19 escolas de Brisbane, na Austrália, no ar exterior 47% advêm dos escapes dos veículos, porém, mais de 80% da concentração de COV no interior deve-se principalmente aos produtos de limpeza, seguindo-se os purificadores de ar e as atividades de arte/artesanato desenvolvidas. Além deste, também Nunes et al. (2015, 2016) verificaram que, em todos os infantários que avaliaram, havia, ocasionalmente, níveis de COVT e CH₂O elevados advindos das operações de limpeza e das emissões do próprio mobiliário, tal como constataram Branco et al. (2015a, 2015b) e Nunes et al. (2015), que encontraram, para CH₂O e COV, concentrações de 204 µm/m³ e 2320 µm/m³, respetivamente, ou seja, superiores ao permitido legalmente. Como referido anteriormente, os diversos materiais utilizados no desenvolvimento das diferentes atividades lúdicas bem como na construção dos edifícios, podem conduzir ao aumento destas concentrações (Yang et al., 2015). Ora, este aumento leva, conseqüentemente, ao incumprimento constituindo este um fator de preocupação relevante em termos de saúde pública (Carreiro-Martins et al., 2014). A presença destes poluentes bem como de PM está muitas vezes associada ao desenvolvimento ou incremento de sintomas respiratórios, manifestando-se sistematicamente em pieira, e agravamento dos sintomas relacionados com dermatite atópica (Carreiro-Martins et al., 2014; Kim et al., 2015; Madureira et al., 2015; Rawi et al., 2015). No relativo ao material particulado, Nunes et al. (2015, 2016) encontraram concentrações mais elevadas nos infantários do contexto urbano do que do contexto rural, assim como monóxido e dióxido de carbono e dióxido de nitrogénio. As PM, principalmente as frações mais finas, apresentam, vulgarmente, níveis médios acima dos de referência nacional e da OMS, estando também estas associadas ao desenvolvimento de doenças ao nível do sistema respiratório, afetando particularmente as crianças pela sua reconhecida vulnerabilidade (Branco et al., 2015a, 2015b; Carreiro-Martins et al., 2014; Madureira et al., 2015; Mainka & Zajusz-Zubek, 2015; Rawi et al., 2015). Um estudo realizado por Fuoco et al. (2015), com o intuito de caracterizar a qualidade do ar interior em seis salas de aula naturalmente ventiladas de três escolas em Cassino (Itália), permitiu verificar que as PM encontradas nos espaços interiores eram afetadas pelas concentrações do exterior. Além disso, os mesmos autores concluíram que a QAI é influenciada pela sazonalidade, visto que a concentração deste poluente sofre alterações pela abertura de janelas mais frequente na primavera, e nos intervalos das aulas, pela ressuspensão das partículas grossas. No referente ao dióxido de nitrogénio, também existe alguma literatura que aponta este poluente como muito frequente nas escolas. Este facto deve-se à proximidade das ruas de tráfego intenso a este tipo de estabelecimento, o que se traduz num agravamento ou aumento da prevalência de asma nos alunos (Chatzidiakou et al., 2014). Estas concentrações, verificadas em 1,2 vezes superiores no interior em

comparação com o exterior, refletem um aumento de cerca de 20% da exposição destes a este poluente em específico (Rivas et al., 2014).

Por fim, Vassura et al. (2015) concluíram ainda que a maior parte dos compostos oferecem uma forte contribuição para as emissões relacionadas com fontes internas. De uma forma geral, o aumento da concentração de poluentes neste tipo de estabelecimentos parece estar relacionado com as taxas de ventilação inadequadas habitualmente praticadas e pela utilização de tapetes e pavimentos antigos (Jovanović et al., 2014). Conclui-se que, à data, existem poucos dados sobre os efeitos de determinados poluentes, revelando-se cada vez mais importante este estudo.

4. Discussão

Pela impossibilidade de desenvolvimento de trabalho *in loco*, com medição das concentrações de poluentes e dos fatores que afetam a QAI em EEE, foi adotada a metodologia de revisão sistemática da literatura. Desta forma, este estudo teve como principal objetivo perceber quais os principais poluentes que estão presentes no interior das escolas, bem como os fatores internos e externos que afetam a QAI nestes estabelecimentos. Além disso, tentou-se perceber a forma como estes influenciam a saúde dos estudantes e quais as principais sintomatologias associadas a este público.

Face à realidade portuguesa, pode constatar-se que existem vários poluentes que podem ser prejudiciais para a saúde das crianças e jovens e que existe uma lacuna na realização destas avaliações no seio escolar e universitário.

Através da revisão sistemática realizada, foi possível verificar um aumento do número de publicações de estudos nesta vertente desde 2014, sendo que os publicados no ano 2015 representam, nesta revisão, cerca de 57% do número total dos analisados.

De acordo com a bibliografia existente, é comum dizer-se que a ventilação afeta a concentração de poluentes no interior dos edifícios. Ora, os resultados obtidos confirmaram que a taxa de ventilação é o fator que mais contribui para uma fraca QAI, tal como havia afirmado Annesi-Maesano et al. (2013), que mencionava que uma má QAI nas escolas está diretamente relacionada com uma ventilação inadequada. Os estudos desenvolvidos por Carreiro-Martins et al. (2014), Chatzidiakou et al. (2014), Dorizas et al. (2015b), Fuoco et al. (2015), Jovanović et al. (2014), Kim et al. (2015) Turanjanin et al. (2014) e Yang et al. (2015) comprovam que uma taxa de ventilação eficaz e adequada pode reduzir significativamente a carga de poluentes nos espaços interiores. Nesta vertente, devido à pandemia por COVID-19 e consequente obrigatoriedade de ventilação cruzada nas salas de aula, seria relevante fazer o levantamento do nível de consciencialização desta população para a necessidade de promover a QAI nestas, através de questionários que visem o antes, o durante e o após o pico desta pandemia.

Além disso, a maior parte dos estudos encontram-se na mesma linha da literatura existente, visto que, embora não seja considerado um gás poluente no exterior, o CO₂ é o poluente que assume um papel mais

relevante nos EEE (Freitas, 2008). Dorizas et al. (2015b) fortificaram este dado, visto que, nas suas medições realizadas em nove escolas naturalmente ventiladas, durante a estação da primavera de 2013, na Grécia, foi atingido o pico de 2082 ppm referente à concentração daquele que é o melhor indicador da QAI. Os valores encontrados relacionam-se tanto com a densidade de ocupação nas salas de aula como com o próprio metabolismo de respiração dos seres humanos. Assim, foram encontradas associações entre baixas taxas de ventilação, elevados níveis de poluentes, principalmente CO₂, e desenvolvimento de sintomas respiratórios, tal como havia sido descrito por Carreiro-Martins et al. (2014).

Estas descobertas podem acarretar especial preocupação quando falamos dos pavilhões desportivos das escolas, especialmente quando estes são partilhados por outras entidades, como equipas desportivas locais. Considerando a prática desportiva recorrente pelos alunos, que leva a uma respiração mais acelerada e, conseqüentemente, um maior volume de CO₂ a ser exalado por maior carência de oxigenação do metabolismo humano, bem como as elevadas taxas de ocupação, podem ser potenciados determinados efeitos na saúde, tanto agudos como crónicos neste público.

Segundo a WHO (2010), o principal sistema afetado pela poluição do ar interior é, então, o respiratório. Neste sentido, provou-se que os principais sintomas associados à presença de poluentes no interior estão relacionados com rinites alérgicas, crises de espirros, tosse e cefaleias (Dorizas et al., 2015a; Ferreira & Cardoso, 2014; Madureira et al., 2015; Rawi et al., 2015). Dos sintomas respiratórios, destacam-se ainda o desenvolvimento da asma (Carreiro-Martins et al., 2014; Madureira et al., 2015), da qual ainda existe pouca bibliografia. Por outro lado, destaca-se ainda a prevalência de dermatite atópica nos alunos, tema ainda menos desenvolvido, agravada pela elevada presença de COV (Kim et al., 2015). Estes dados permitem afirmar que as doenças relacionadas com o sistema respiratório aumentam, então, conforme também aumenta a concentração de poluentes nas salas de aula (Santos, 2020). Outro dado importante está relacionado com a presença de COV, que Seguel et al. (2017) e Wyon (2004) referiam estar relacionada com o tipo de atividades desenvolvidas no interior das salas de aula e com os produtos utilizados nas operações de limpeza. Neste sentido, Mishra et al. (2015), Sadrizadeh et al. (2022) e Vassura et al. (2015) provam que de facto esta presença se deve essencialmente àquelas atividades, o que nos mostra que as mesmas devem cingir-se a horários em que estas não se estejam a desenvolver e que sejam espaçadas o suficiente no tempo de maneira a permitir uma estabilização de valores em níveis aceitáveis. Por outro lado, com a modernização das salas de aula, a problemática dos COV ganhou uma nova dimensão, com a introdução de marcadores permanentes, reconhecidos por proporcionarem um aumento da concentração destes poluentes. Com a diminuição do uso de quadros de giz, seria interessante estabelecer um paralelismo entre a QAI em salas de aula que ainda os usam e as que utilizam quadros interativos. Além disso, seria também apelativo verificar a influência do uso de videoprojeção e computadores na QAI. Para tal, podiam ser desenvolvidos estudos que comparassem o antes e o depois da modernização dos métodos de ensino, analisando as discrepâncias entre as escolas do setor público e as do setor privado.

No referente ao material particulado, o estudo conduzido por Rufo et al. (2016) permitiu comprovar o descrito por Branco et al. (2015a, 2015b), Jovanović et al. (2014) e Rivas et al. (2014), considerando que os valores, principalmente de $PM_{2,5}$, excediam o estabelecido legalmente e eram superiores no interior, sendo este tipo de partículas as mais preocupantes em termos de saúde humana.

Em relação aos agentes físicos, aquele que mais parece afetar a QAI, segundo a percepção dos alunos, é a temperatura. Segundo Sadrizadeh et al. (2022), os mesmos tendem a sentir-se termicamente confortáveis em locais com climas mais frescos, ou seja, espaços onde seja mantido uma menor temperatura. Ora, isto é contraditório face aos valores registados de taxas de ventilação, dado que, um menor volume de fluxo de ar é inversamente proporcional a um aumento de temperatura. Esta conclusão pode ditar que exista uma pior QAI nos meses onde é expectável que não exista necessidade de baixar a temperatura ambiente pela ventilação natural através da abertura de janelas e portas, como é o caso dos meses mais frios. Pelo contrário, a utilização da ventilação natural poderá significar uma maior exposição a agentes poluentes vindo do exterior, especialmente em zonas associadas a uma maior poluição do ar, como centros urbanos e zonas industriais.

De uma maneira geral, embora não se possa dizer que estes resultados sejam inesperados, dado que há uma evidência empírica acerca da temática, esta revisão sistemática corrobora e contribui para o reforço dos resultados empíricos prévios e aferição de proposições teóricas previamente apresentadas na literatura e até agora escassas.

Porém, é notória a grande necessidade de estudos mais abrangentes, com amostras maiores, caracterizando e definindo estratégias para promover a qualidade do ar interior nas escolas, melhorar os resultados em termos de saúde e bem-estar dos estudantes e a satisfação e o desempenho cognitivo.

5. Conclusão

A presente revisão bibliográfica permitiu aprofundar os conhecimentos no que respeita ao comportamento de diversos poluentes e parâmetros de conforto nos EEE, incidindo sobretudo em jardins-de-infância/creches/infantários e escolas primárias/básicas do 1º ciclo.

De uma maneira geral, foi possível constatar que as taxas de ventilação e de ocupação das salas de aula bem como as atividades que aqui desenvolvem, as operações e produtos utilizados na limpeza e as próprias características dos edifícios foram apontadas como as principais fontes para a obtenção de uma má QAI.

Vários estudos apontam para uma relação direta entre a sintomatologia que os ocupantes apresentam e os poluentes que eventualmente estarão presentes, realçando-se, neste âmbito, a presença de níveis excedentes de CO_2 , indicativo de baixas taxas de ventilação.

Considerando o público-alvo desta análise, as crianças e os jovens, facilmente se compreende que, por si só, têm uma maior predisposição para o desenvolvimento de doenças relacionadas com a exposição a poluentes atmosféricos, tendo em conta que o seu sistema respiratório se encontra em desenvolvimento, respiram um maior volume de ar em comparação com os adultos e permanecem no interior dos edifícios durante longos períodos de tempo (tanto nas habitações como nas escolas). Nesta vertente, verificou-se que, após exposição aos poluentes atmosféricos interiores, as crianças desenvolvem sintomatologia como espirros, rinite alérgica, sibilos, asma, tosse, dores de cabeça, irritação das mucosas e falta de concentração.

Relativamente ao CO₂, poluente que excede mais vezes os valores legalmente definidos, está associada a ventilação inadequada e ao elevado número de crianças por área de estudo. Já o CH₂O e os COVT ultrapassaram, também, em vários estudos os limites legais, concluindo-se que estão fortemente relacionados com as operações de limpeza, com as atividades desenvolvidas pelas crianças (uso de tintas, colas, entre outros) e com o mobiliário ou materiais usados na construção dos edifícios. Também as PM assumem um papel preponderante nesta matéria, permitindo atestar que a sua elevada presença se correlacionou, entre outros, com o uso de giz em vez de marcador e que a sua concentração é afetada pela sua existência no exterior.

Concluiu-se também que, a presença de outros poluentes como CO e NO₂, não está relacionada com fontes internas, devendo-se por isso às concentrações destes poluentes no ar exterior. Concretamente acerca do dióxido de nitrogénio, comprovou-se a sua existência pela proximidade das escolas a ruas de tráfego intenso, manifestando-se num agravamento ou aumento da prevalência de asma nos alunos.

À parte dos poluentes, também a temperatura e a humidade assumem papéis importantes no que refere à QAI e ao conforto térmico, estando ambas diretamente relacionadas com o exterior.

Além disso, neste tipo de estabelecimentos, os efeitos associados à sazonalidade descrevem e caracterizam o tipo de procedimentos comumente adotados: no inverno, as taxas de ventilação são inferiores, pois mantém-se mais tempo as janelas fechadas por conta das baixas temperaturas registadas no exterior. Já na primavera, há uma abertura mais frequente das janelas, pelo que aumenta a taxa de ventilação e reduz a concentração de CO₂ no interior. Para além deste facto, outro dado importante é o aumento da concentração deste poluente aquando dos intervalos das aulas, dado que os espaços ficam total ou parcialmente vazios, o que leva à ressuspensão das partículas grossas que haviam estado em circulação.

Para trabalhos futuros, propõe-se a realização de um estudo aprofundado a mais escolas, englobando todos os níveis de ensino, considerando que a maioria incide em jardins-de-infância e escolas primárias, de forma a perceber os diferentes poluentes presentes e respetivas concentrações, bem como a resposta dos diferentes públicos-alvo em termos de sintomatologia e aplicação de medidas de mitigação. Mostra-se ainda preponderante avaliar a QAI em EEE dotados de laboratórios onde sejam manuseadas

substâncias químicas, verificando a concentração de novos poluentes e a alteração dos poluentes habitualmente presentes bem como o tipo de problemática associada à curta e prolongada exposição dos estudantes.

Sugere-se ainda a realização de estudos que permitam comparar os efeitos da modernização dos métodos de ensino, no que respeita à crescente utilização de meios tecnológicos, associados à poluição do ar interior. Além disso, considerando que também o pavimento contribui para esta poluição, propõe-se a investida em análises que comparem as escolas que utilizam carpetes ou chão em madeira, com as que utilizam vinil ou linóleo, os mais recentes pavimentos utilizados nestes estabelecimentos.

Além disso, poderia ser aprofundada a questão da QAI em pavilhões ginodesportivos, tanto de uso exclusivamente escolar como comunitários, em que são partilhados entre EEE e equipas desportivas.

Por outro lado, considerando o impacto da pandemia por COVID-19 e medidas obrigatoriamente impostas em relação à ventilação dos espaços, mostra-se necessário averiguar o nível de consciencialização da comunidade educativa face a esta problemática. Assim, recomenda-se a continuação da sensibilização da população para os riscos associados à exposição a uma má QAI e medidas corretivas e preventivas a dotar, sugerindo-se a avaliação e monitorização do antes e depois da aplicação destas, recorrendo, para as medições, à metodologia constante na legislação nacional mais recente anteriormente descrita.

Aconselha-se ainda a realização de mais estudos que permitam relacionar esta problemática com a saúde das crianças, principalmente através de adequados diagnósticos e testes médicos para confirmação da sintomatologia, visto ser uma área ainda com défice de literatura.

Seria também de extrema relevância perceber as variações regionais decorrentes da poluição do ar, tentando averiguar as diferenças nos poluentes encontrados num distrito mais industrializado e economicamente desenvolvido e nas zonas mais rurais.

Referências Bibliográficas

- Abhijith, K. v., Kukadia, V., & Kumar, P. (2022). Investigation of air pollution mitigation measures, ventilation, and indoor air quality at three schools in London. *Atmospheric Environment*, 289. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119303>
- ADENE. (2016). *Sistemas de Ventilação*. ADENE - Agência para a Energia. Obtido de <https://www.adene.pt/>
- ADENE. (2022). *Certificação Energética de Edifícios*. Obtido de <https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios-3/consumidores/>
- AEA. (2022). *Um ar mais limpo poderia ter salvado pelo menos 178 000 vidas em toda a UE em 2019*. Obtido de <https://www.eea.europa.eu/pt/highlights/um-ar-mais-limpo-poderia>
- Almeida, M. M. de, Lopes, I., & Nunes, C. (2010). *Caracterização da qualidade do ar interior em Portugal - Estudo HabitAR*.
- Annesi-Maesano, I., Baiz, N., Banerjee, S., Rudnai, P., & Rive, S. (2013). Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*, 16(8), 491–550. Obtido de <https://doi.org/10.1080/10937404.2013.853609>
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1. (2016). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Obtido de www.ashrae.org/technology.
- APA. (2022). *Qualidade do Ar*. Obtido de <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/qualidade-do-ar>
- ASHRAE. (2020). *ASHRAE Position Document on Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Obtido de www.ashrae.org
- Asikainen, A., Carrer, P., Kephelopoulos, S., Fernandes, E. D. O., Wargocki, P., & Hänninen, O. (2016). Reducing burden of disease from residential indoor air exposures in Europe (HEALTHVENT project). *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15. Obtido de <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0101-8>
- Branco, P. T. B. S., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Sousa, S. I. V. (2015a). Children's exposure to indoor air in urban nurseries-part I: CO₂ and comfort assessment. *Environmental Research*, 140, 1–9. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.03.007>
- Branco, P. T. B. S., Nunes, R. A. O., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Sousa, S. I. V. (2015b). Children's exposure to indoor air in urban nurseries - Part II: Gaseous pollutants' assessment. *Environmental Research*, 142, 662–670. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.08.026>
- Breyse, P. N., Diette, G. B., Matsui, E. C., Butz, A. M., Hansel, N. N., & McCormack, M. C. (2010). Indoor air pollution and asthma in children. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 7(2), 102–106. Obtido de <https://doi.org/10.1513/pats.200908-083RM>

- Cai, C., Sun, Z., Weschler, L. B., Li, T., Xu, W., & Zhang, Y. (2021). Indoor air quality in schools in Beijing: Field tests, problems and recommendations. *Building and Environment*, 205. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108179>
- Canha, N., Almeida, S. M., Freitas, M. do C., Wolterbeek, H. T., Cardoso, J., Pio, C., & Caseiro, A. (2014). Impact of wood burning on indoor PM_{2.5} in a primary school in rural Portugal. *Atmospheric Environment*, 94, 663–670. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.080>
- Carreiro-Martins, P., Viegas, J., Papoila, A. L., Aelenei, D., Caires, I., Araújo-Martins, J., Gaspar-Marques, J., Cano, M. M., Mendes, A. S., Virella, D., Rosado-Pinto, J., Leiria-Pinto, P., Annesi-Maesano, I., & Neuparth, N. (2014). CO₂ concentration in day care centres is related to wheezing in attending children. *European Journal of Pediatrics*, 173(8), 1041–1049. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s00431-014-2288-4>
- Chan, W. R., Li, X., Singer, B. C., Pistochini, T., Vernon, D., Outcault, S., Sanguinetti, A., & Modera, M. (2020). Ventilation rates in California classrooms: Why many recent HVAC retrofits are not delivering sufficient ventilation. *Building and Environment*, 167, 106426. Obtido de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106426>
- Chatzidiakou, L., Mumovic, D., & Summerfield, A. J. (2012). What do we know about indoor air quality in school classrooms? A critical review of the literature. *Intelligent Buildings International*, 4(4), 228–259. Obtido de <https://doi.org/10.1080/17508975.2012.725530>
- Chatzidiakou, L., Mumovic, D., Summerfield, A. J., Hong, S. M., & Altamirano-Medina, H. (2014). A Victorian school and a low carbon designed school: Comparison of indoor air quality, energy performance, and student health. *Indoor and Built Environment*, 23(3), 417–432. Obtido de <https://doi.org/10.1177/1420326X14532388>
- Clements-Croome, D. J., Awbi, H. B., Bakó-Biró, Z., Kochhar, N., & Williams, M. (2008). Ventilation rates in schools. *Building and Environment*, 43(3), 362–367. Obtido de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.018>
- Csobod, É., Annesi-Maesano, I., Carrer, P., Kephelopoulos, S., Madureira, J., Rudnai, P., Fernandes, E. de O., Barrero-Moreno, J., Beregszászi, T., Hyvärinen, A., Moshhammer, H., Norback, D., Páldy, A., Pándics, T., Sestini, P., Stranger, M., Täubel, M., Varró, M. J., Vaskovi, E., ... Viegj, G. (2014). *Sinphonie - Schools Indoor Pollution & Health Observatory Network in Europe*. Obtido de <https://doi.org/10.2788/99220>
- DECO PROTESTE. (2022). *Certificado energético: o que é, onde pedir e qual o preço*. Obtido de <https://www.deco.proteste.pt/dinheiro/comprar-vender-casa/noticias/certificado-energetico-que-e-onde-pedir-qual-preco>

- Decreto-Lei nº 101-D/2020, de 7 de dezembro, da Presidência do Conselho de Ministros. Diário da República: I série, nº 237 (2020). Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2020/12/23701/0002100045.pdf>
- Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de setembro, do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Diário da República: I série, nº 186 (2010). Obtido de <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/102-2010-342123>
- Despacho nº 1618/2022, de 9 de fevereiro, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática. Diário da República: II série, nº 28 (2022). Obtido de <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho/1618-2022-178882450>
- Dorizas, P. V., Assimakopoulos, M. N., & Santamouris, M. (2015a). A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5), 1–18. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4503-9>
- Dorizas, P. V., Assimakopoulos, M. N., Helmis, C., & Santamouris, M. (2015b). An integrated evaluation study of the ventilation rate, the exposure and the indoor air quality in naturally ventilated classrooms in the Mediterranean region during spring. *Science of the Total Environment*, 502, 557–570. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.060>
- Edvardsson, B., Stenberg, B., Bergdahl, J., Eriksson, N., Lindén, G., & Widman, L. (2008). Medical and social prognoses of non-specific building-related symptoms (Sick Building Syndrome): A follow-up study of patients previously referred to hospital. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81(7), 805–812. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s00420-007-0267-z>
- EPA. (1990). Ventilation and Air Quality in Offices Fact Sheet. *Air and Radiation (6609J)*. Obtido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/ventilation_factsheet.pdf
- EPA. (1991). *Indoor Air Facts No. 4 - Sick Building Syndrome*. Obtido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf
- EPA. (2009). *Indoor Air Quality Tools for Schools - Reference Guide*. Obtido de www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/reference-guide.pdf
- Ferreira, A. M. da C., & Cardoso, M. (2014). Qualidade do ar interno e saúde em escolas. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 40(3), 259–268. Obtido de <https://doi.org/10.1590/S1806-37132014000300009>
- Freitas, L. C. (2008). *Manual de Segurança e Saúde do Trabalho* (1ª edição). Edições Sílabo, Lda.
- Fuoco, F. C., Stabile, L., Buonanno, G., Trassiera, C. V., Massimo, A., Russi, A., Mazaheri, M., Morawska, L., & Andrade, A. (2015). Indoor air quality in naturally ventilated Italian classrooms. *Atmosphere*, 6(11), 1652–1675. Obtido de <https://doi.org/10.3390/atmos6111652>
- Gennaro, G., Dambruoso, P. R., Loiotile, A. D., di Gilio, A., Giungato, P., Tutino, M., Marzocca, A., Mazzone, A., Palmisani, J., & Porcelli, F. (2014). Indoor air quality in schools. Em *Environmental Chemistry Letters*

- (Vol. 12, Issue 4, pp. 467–482). Springer Verlag. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0470-6>
- Gil-Baez, M., Barrios-Padura, Á., Molina-Huelva, M., & Chacartegui, R. (2017). Natural ventilation systems in 21st-century for near zero energy school buildings. *Energy*, *137*, 1186–1200. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.188>
- IDAD. (2022). *Legislação QAI*. Obtido de <https://www.ua.pt/pt/idad/page/15241>
- ISIAQ. (2006). *Glossary of the Indoor Air Sciences* (L. Molhave, D. Moschandreas, & W. G. Tucker, Eds.; First Edition). ISIAQ.
- Jovanović, M., Vučićević, B., Turanjanin, V., Živković, M., & Spasojević, V. (2014). Investigation of indoor and outdoor air quality of the classrooms at a school in Serbia. *Energy*, *77*, 42–48. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.080>
- Katafygiotou, M. C., & Serghides, D. K. (2014). Indoor comfort and energy performance of buildings in relation to occupants' satisfaction: investigation in secondary schools of Cyprus. *Advances in Building Energy Research*, *8*(2), 216–240. Obtido de <https://doi.org/10.1080/17512549.2013.865554>
- Kim, E. H., Kim, S., Lee, J. H., Kim, J., Han, Y., Kim, Y. M., Kim, G. B., Jung, K., Cheong, H. K., & Ahn, K. (2015). Indoor air pollution aggravates symptoms of atopic dermatitis in children. *PLoS ONE*, *10*(3). Obtido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119501>
- Kolarik, B., Andersen, Z. J., Ibfelt, T., Engelund, E. H., Møller, E., & Bräuner, E. V. (2016). Ventilation in day care centers and sick leave among nursery children. *Indoor Air*, *26*(2), 157–167. Obtido de <https://doi.org/10.1111/ina.12202>
- Kumar, P., Omidvarborna, H., Barwise, Y., Tiwari, A., Andrade, M., Martins, L., S. Brand, V., & Hei Wikuats, C. F. (2020). *Mitigação da exposição à poluição do ar causada pelo trânsito nas escolas e no seu entorno – Guia para crianças, escolas e comunidades locais (Mitigating Exposure to Traffic Pollution In and Around Schools – Guidance for Children, Schools and Local Communities)*.
- Laumbach, R. J. (2008). Sick Building Syndrome. *International Encyclopedia of Public Health*.
- Lee, S. C., & Chang, M. (1999). Indoor Air Quality Investigations at Five Classrooms. *AIVC*, *12*, 369.
- Madureira, J., Paciência, I., Rufo, J., Ramos, E., Barros, H., Teixeira, J. P., & de Oliveira Fernandes, E. (2015). Indoor air quality in schools and its relationship with children's respiratory symptoms. *Atmospheric Environment*, *118*, 145–156. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.07.028>
- Mainka, A., & Zajusz-Zubek, E. (2015). Indoor air quality in urban and rural preschools in upper Silesia, Poland: Particulate matter and carbon dioxide. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(7), 7697–7711. Obtido de <https://doi.org/10.3390/ijerph120707697>
- Manual MSD. (2022). *Considerações gerais sobre o sistema respiratório*. Obtido de <https://www.msdmanuals.com/pt-pt/casa/dist%C3%BArbios-pulmonares-e-das-vias->

- respirat%C3%B3rias/biologia-dos-pulm%C3%B5es-e-das-vias-a%C3%A9reas/considera%C3%A7%C3%B5es-gerais-sobre-o-sistema-respirat%C3%B3rio
- Mishra, N., Bartsch, J., Ayoko, G. A., Salthammer, T., & Morawska, L. (2015). Volatile Organic Compounds: Characteristics, distribution and sources in urban schools. *Atmospheric Environment*, *106*, 485–491. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.052>
- Norma EN 13779:2007, de 25 de abril, do Comité Técnico do Conselho Europeu. Ventilation for non-residential buildings–Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems (2007).
- Norma EN ISO 7730. Ergonomics of the Thermal Environment–Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria (2005). Obtido de www.iso.org
- Norma nº 015/2015, de 12 de agosto, da Direção-Geral da Saúde. Diário da República: II série, Nº 110 (2015). Obtido de https://www.arsnorte.min-saude.pt/wp-content/uploads/sites/3/2018/01/Programa_NSE_2015.pdf
- Nunes, R. A. O., Branco, P. T. B. S., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Sousa, S. I. V. (2015). Particulate matter in rural and urban nursery schools in Portugal. *Environmental Pollution*, *202*, 7–16. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.009>
- Nunes, R. A. O., Branco, P. T. B. S., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Sousa, S. I. V. (2016). Gaseous pollutants on rural and urban nursery schools in Northern Portugal. *Environmental Pollution*, *208*, 2–15. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.07.018>
- Ormandy, D., & Ezratty, V. (2012). Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies. *Energy Policy*, *49*, 116–121. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.003>
- Osborne, S., Uche, O., Mitsakou, C., Exley, K., & Dimitroulopoulou, S. (2021). Air quality around schools: Part II – Mapping PM2.5 concentrations and inequality analysis. *Environmental Research*, *197*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111038>
- Portaria nº 138-G/2021, de 1 de julho, dos Ministérios da Saúde e do Ambiente e Ação Climática. Diário da República: I série, nº 126, 2º suplemento (2021). Obtido de <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/138-g-2021-166296490>
- Quirós-Alcalá, L., Wilson, S., Witherspoon, N., Murray, R., Perodin, J., Trousdale, K., Raspanti, G., & Sapkota, A. (2016). Volatile organic compounds and particulate matter in child care facilities in the District of Columbia: Results from a pilot study. *Environmental Research*, *146*, 116–124. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.005>
- Rawi, N. A. M. N., Jalaludin, J., & Chua, P. C. (2015). Indoor air quality and respiratory health among malay preschool children in Selangor. *BioMed Research International*, *2015*. Obtido de <https://doi.org/10.1155/2015/248178>

- Rivas, I., Viana, M., Moreno, T., Pandolfi, M., Amato, F., Reche, C., Bouso, L., Àlvarez-Pedrerol, M., Alastuey, A., Sunyer, J., & Querol, X. (2014). Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain. *Environment International*, *69*, 200–212. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.009>
- Sadrizadeh, S., Yao, R., Yuan, F., Awbi, H., Bahnfleth, W., Bi, Y., Cao, G., Croitoru, C., de Dear, R., Haghighat, F., Kumar, P., Malayeri, M., Nasiri, F., Ruud, M., Sadeghian, P., Wargocki, P., Xiong, J., Yu, W., & Li, B. (2022). Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. *Journal of Building Engineering*, *57*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104908>
- Santos, E. J. (2020). *Guia FNRE - Fundo Nacional de Reabilitação do Edificado* (S. Neves, Ed.; FUNDIESTAMO, SA.).
- Seguel, J. M., Merrill, R., Seguel, D., & Campagna, A. C. (2017). Indoor Air Quality. *American Journal of Lifestyle Medicine*, *11*(4), 284–295. Obtido de <https://doi.org/10.1177/1559827616653343>
- Silva, M. J., Gomes, C., Pestana, B., Lopes, J., Marcelino, M., & Fonseca, A. (2009). *Adding Space and Senses to Mobile World Exploration* (pp. 147–169). Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374900-0.00008-9>
- Śmiełowska, M., Marć, M., & Zabiegała, B. (2017). Indoor air quality in public utility environments—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(12), 11166–11176. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8567-7>
- Söderholm, A., Öhman, A., Stenberg, B., & Nordin, S. (2016). Experience of living with nonspecific building-related symptoms. *Scandinavian Journal of Psychology*, *57*(5), 406–412. Obtido de <https://doi.org/10.1111/sjop.12319>
- Surawattanasakul, V., Sirikul, W., Sapbamrer, R., Wangsan, K., Panumasvivat, J., Assavanopakun, P., & Muangkaew, S. (2022). Respiratory Symptoms and Skin Sick Building Syndrome among Office Workers at University Hospital, Chiang Mai, Thailand: Associations with Indoor Air Quality, AIRMED Project. Em *International journal of environmental research and public health* (Vol. 19, Issue 17). Obtido de <https://doi.org/10.3390/ijerph191710850>
- Turanjanin, V., Vučićević, B., Jovanović, M., Mirkov, N., & Lazović, I. (2014). Indoor CO₂ measurements in Serbian schools and ventilation rate calculation. *Energy*, *77*, 290–296. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.028>
- US-EPA. (2022, Agosto 26). *Carbon Monoxide's Impact on Indoor Air Quality*. Obtido de <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/carbon-monoxides-impact-indoor-air-quality>
- Vassella, C. C., Koch, J., Henzi, A., Jordan, A., Waeber, R., Iannaccone, R., & Charrière, R. (2021). From spontaneous to strategic natural window ventilation: Improving indoor air quality in Swiss schools.

- International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 234, 113746. Obtido de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113746>
- Vassura, I., Venturini, E., Bernardi, E., Passarini, F., & Settimo, G. (2015). Assessment of Indoor Pollution in a School Environment through both Passive and Continuous Samplings. Em *Environmental Engineering and Management Journal* (Vol. 14, Issue 7). Obtido de <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>
- Wargocki, P., Porras-Salazar, J. A., Contreras-Espinoza, S., & Bahnfleth, W. (2020). The relationships between classroom air quality and children's performance in school. *Building and Environment*, 173. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106749>
- WHO. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe* (Second Edition). WHO Regional Publications. Obtido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107335/9789289013581-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- WHO. (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Obtido de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- WHO. (2007). *Indoor Air Pollution: National Burden of Disease Estimates*. Obtido de <http://www.who.int/indoorair/publications/fuelforlife/>
- WHO. (2009). *Dampness and Mould*. WHO Regional Office for Europe. Obtido de www.euro.who.int
- WHO. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Obtido de www.euro.who.int
- WHO. (2022a). *Air quality*. Obtido de https://www.who.int/europe/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- WHO. (2022b). *Disability-adjusted life years (DALYs)*. Obtido de <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/158>
- Wyon, D. P. (2004). *The effects of indoor air quality on performance and productivity*. Obtido de www.blackwellpublishing.com/ina
- Yang, J., Nam, I., Yun, H., Kim, J., Oh, H. J., Lee, D., Jeon, S. M., Yoo, S. H., & Sohn, J. R. (2015). Characteristics of indoor air quality at urban elementary schools in Seoul, Korea: Assessment of effect of surrounding environments. *Atmospheric Pollution Research*, 6(6), 1113–1122. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.06.009>