

FORMALDEÍDO EM ESCOLAS: UMA REVISÃO

Célia A. Alves*

Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Departamento do Ambiente, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

Sullamy Dayse Gomes Acirole

Departamento de Biologia Animal, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

Recebido em 5/3/12; aceito em 6/6/12; publicado na web em 31/8/12

FORMALDEHYDE IN SCHOOLS: A REVIEW. Formaldehyde has been classified as a probable human carcinogen. Indoor air quality measurements carried out worldwide in schools indicate that levels may be of concern. This paper provides an overview of emission sources, properties and methods for quantification of formaldehyde. Quantitative information from studies performed in school environments was compiled and a comprehensive picture of the causal relationships between pollutant exposures and children's health given. Mitigation actions to reduce formaldehyde levels and its adverse impacts in school buildings are recommended.

Keywords: indoor air quality; formaldehyde; children's health.

INTRODUÇÃO

Não é de hoje que a qualidade do ar vem sendo discutida entre a comunidade científica das mais diversas áreas, levando o tema a ser alvo de investigações, na tentativa de identificar as fontes dos poluentes atmosféricos, compreender a forma como estes reagem após emissão e avaliar o modo como afetam o Homem, os ecossistemas e o clima. Este tema tornou-se ainda mais relevante quando, nas décadas de 40 e 50 do século XX, se contabilizou nos Estados Unidos e na Europa, respetivamente, um elevado número de óbitos em curto intervalo de tempo em consequência da poluição atmosférica, nos clássicos episódios de Donora, Pensilvânia, e em Londres. Condições meteorológicas desfavoráveis, sobretudo associadas a inversões térmicas, impediram a dispersão dos poluentes, contribuindo para milhares de internações hospitalares e óbitos por problemas respiratórios e cardiovasculares.¹ Diante do trágico incidente, os Estados Unidos fixaram padrões de qualidade do ar e criaram, na década de 70, a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA), cujo objetivo é promover uma variedade de atividades de pesquisa, monitoramento, estabelecimento de normas e promoção de ações para assegurar o controle da qualidade do ar e a proteção ambiental.² A criação de agências ambientais e a sucessiva aplicação de nova legislação foram secundadas em vários outros países.

As preocupações associadas aos efeitos da qualidade do ar na saúde pública têm geralmente em conta a poluição atmosférica no exterior dos edifícios. O interesse pelo estudo da qualidade do ar interior (QAI) surgiu após o conhecimento de que o desenvolvimento de microrganismos, o uso de produtos de limpeza, a existência de materiais e equipamentos poluentes, a própria ocupação humana e a deficiente ventilação e renovação do ar são alguns dos fatores responsáveis para que tanto o número de poluentes como a sua concentração sejam, em geral, muito mais elevados nos espaços interiores do que no ar exterior.^{3,4} Este fato adquire extrema importância quando se tem em consideração que nas sociedades modernas as pessoas passam a maior parte do seu tempo no interior de edifícios (80 a 90%), inalando em média 10 m³ de ar por dia.^{5,6} A má qualidade do ar tem sido apontada como a causa de sintomas físicos e queixas, tais como dores de cabeça, irritação dos olhos e tosse.^{7,8} Estes sintomas e queixas podem

afetar a saúde, o conforto, a satisfação no trabalho e o desempenho profissional. O termo “síndrome dos edifícios doentes (SED)” é usado para descrever situações de desconforto laboral e/ou de problemas agudos de saúde referidos pelos trabalhadores, que parecem estar relacionados com a permanência no interior de alguns edifícios.⁹⁻¹⁴ Paradoxalmente, o movimento mundial de conservação de energia, desencadeado na década de 70, contribuiu de forma marcante para as preocupações atuais referentes à QAI.¹⁵⁻¹⁷ Com o objetivo de obter uma melhor eficiência nos aparelhos de refrigeração e aquecimento e, com isso, minimizar o consumo de energia, observou-se uma tendência crescente para se construírem edifícios selados, sobretudo em países desenvolvidos localizados em clima frio.¹⁸⁻²⁰ Em resultado da aplicação de medidas conservativas de energia que reduzem a quantidade de ar exterior fornecido, da utilização de equipamentos modernos (e.g. fotocopiadoras, impressoras laser, computadores) e do crescente uso de materiais sintéticos, o número de queixas associadas à QAI tem aumentado nos últimos anos.²¹ Esta situação é um tanto mais grave quando se fala de grupos vulneráveis, como é o caso das crianças. Desde muito cedo as crianças frequentam espaços públicos e na idade escolar todas são confrontadas com longos períodos de permanência no interior das salas de aula, pelo que será de esperar que as condições existentes nos edifícios que as albergam condicionem a incidência de sintomas respiratórios,²²⁻²⁸ o desempenho escolar²⁹⁻³⁴ e as taxas de absentismo.^{29,35-38} As crianças apresentam maior suscetibilidade a alguns poluentes em comparação com os adultos, uma vez que respiram um maior volume de ar em relação ao seu peso corporal, e os tecidos ainda se encontram numa fase de desenvolvimento.³⁰

Entre os poluentes que mais contribuem para uma inadequada QAI destacam-se os compostos orgânicos voláteis (COV). Inúmeros estudos confirmaram que os COV são, em geral, encontrados em maior número e em concentrações mais elevadas nos ambientes internos do que no ar externo.^{4,39-46} Por este motivo, esta é a classe de compostos mais frequentemente estudada nos ambientes internos.⁴⁷ Dada a sua presença em inúmeros materiais de construção e produtos de uso corrente, o formaldeído é um dos COV com emissões mais elevadas em ambientes interiores, sendo frequentemente associado à SED.⁴⁸⁻⁵¹

Além das residências e de outros ambientes fechados, a escola é, sem sombra de dúvidas, o local onde as crianças passam uma parte significativa do seu tempo. Em resultado de inúmeras fontes emissoras internas, elevado número de ocupantes, má ventilação e manutenção

*e-mail: celia.alves@ua.pt

deficitária dos edifícios e dos sistemas de ar condicionado por falta de recursos financeiros, as escolas apresentam, em geral, uma inadequada QAI, com elevadas concentrações de vários poluentes, entre os quais o formaldeído.^{30,52} A exposição ao formaldeído pode causar irritação nos olhos, nariz e no trato respiratório, tendo sido frequentemente associada à exacerbação da asma, especialmente em crianças mais sensíveis.^{53,54} Atendendo à importância deste poluente em ambiente escolar, neste trabalho procurou-se efetuar um levantamento das fontes emissoras que contribuem para a deteção de formaldeído em concentrações geralmente elevadas, uma coletânea dos estudos levados a cabo em escolas, uma compilação da literatura científica direcionada para os efeitos na saúde infantil decorrentes da exposição a este poluente e uma listagem de possíveis medidas mitigadoras para reduzir os níveis observados e, desta forma, minimizar os seus impactos epidemiológicos.

CARACTERÍSTICAS E FONTES EMISSORAS DO FORMALDEÍDO

Descoberto em 1867 pelo químico alemão A. W. von Hofmann, o formaldeído (fórmula molecular $H_2-C=O$; CAS 50-00-0), também conhecido como metanal segundo a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), e de sinónímia formol, é um gás incolor inflamável altamente reativo à temperatura ambiente.⁵⁵ Pode ser obtido comercialmente como solução aquosa a 30-50% (m/m), conhecida por formalina. As propriedades da substância pura estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do formaldeído. Adaptada da ref. 56

Massa molar	30,03 g mol ⁻¹
Densidade relativa do vapor	1,03-1,07 (ar = 1)
Ponto de fusão	-92 °C
Ponto de ebulição	-19,1 °C
Solubilidade	em água (~ 400 g L ⁻¹ a 20 °C), etanol e clorofórmio
Miscibilidade	em acetona, benzeno e éter dietílico
Coefficiente de partição octanol/água (log K _{ow})	0,35
Pressão de vapor	5,19×10 ⁵ Pa (a 25 °C)
Constante da Lei de Henry	3,41×10 ² Pa m ³ mol ⁻¹ (a 25 °C)
Conversões a 760 mm Hg	
a 20 °C	1 ppm = 1,249 mg m ⁻³ ; 1 mg m ⁻³ = 0,801 ppm
a 20 °C	1 ppm = 1,228 mg m ⁻³ ; 1 mg m ⁻³ = 0,814 ppm

No ar ambiente, o formaldeído é rapidamente foto-oxidado a CO. Também reage rapidamente com os radicais hidroxila para formar ácido fórmico (Figura 1).⁵⁷ Dependendo das condições, o tempo de semivida para estas reações é de aproximadamente 30 min. A sua elevada reatividade resulta da presença de uma ligação dupla polarizada entre o átomo de carbono e o de oxigénio.⁵⁸ Na presença de ar e à temperatura ambiente, polimeriza rapidamente dando origem a paraformaldeído. Reage violentamente com agentes oxidantes como os peróxidos e, com agentes redutores, pode produzir calor e formar gases inflamáveis.⁵⁹ O formaldeído pode reagir com o ácido clorídrico ou outros cloretos inorgânicos para formar éter bis(clorometílico), substância que apresenta propriedades cancerígenas para o Homem.^{59,60}

O formaldeído existente no ar ambiente pode ter origem em fenómenos naturais ou em atividades antropogénicas, partilhando com o acetaldeído o lugar de aldeído mais abundante na atmosfera. Pode ocorrer no ambiente devido a reações fotoquímicas, mas também devido às emissões dos veículos automotores.^{61,62} A principal fonte

<i>Fotólise do formaldeído na atmosfera</i>
$CH_2O + hv (290-310 \text{ nm}) \rightarrow H^{\cdot} + HCO^{\cdot}$ $CH_2O + hv (320-350 \text{ nm}) \rightarrow H_2 + CO$ $H^{\cdot} + O_2 \rightarrow HO_2^{\cdot}$ $HCO^{\cdot} + O_2 \rightarrow HO_2^{\cdot} + CO$
<i>Processo heterogéneo de remoção do formaldeído (em meio aquoso)</i>
$CH_2O + H_2O \leftrightarrow HOCH_2OH$ $CH_2(OH)_2 + HO^{\cdot} \rightarrow CH^{\cdot}(OH)_2 + H_2O$ $CH^{\cdot}(OH)_2 + O_2 \rightarrow HCOOH + HO_2^{\cdot}$
<i>Reação com radicais hidroxila</i>
$CH_2O + HO^{\cdot} \rightarrow H_2O + HCO^{\cdot}$ $HCO^{\cdot} + O_2 \rightarrow HO_2^{\cdot} + CO$ $CH_2O + HO_2^{\cdot} \rightarrow (HO_2CH_2O^{\cdot}) \leftrightarrow O_2^{\cdot}CH_2OH$ $2 O_2^{\cdot}CH_2OH \rightarrow 2 O^{\cdot}CH_2OH + O_2$ $O_2^{\cdot}CH_2OH + HO_2^{\cdot} \rightarrow HO_2^{\cdot}CH_2OH + O_2$ $O^{\cdot}CH_2OH + O_2 \rightarrow HCOOH + HO_2^{\cdot}$ $HO_2CH_2O^{\cdot} \rightarrow HCOOH + H_2O$
<i>Produção de ozônio por foto-oxidação do formaldeído</i>
$CH_2O + hv (290-310 \text{ nm}) \rightarrow H^{\cdot} + HCO^{\cdot}$ $H^{\cdot} + O_2 \rightarrow HOO^{\cdot}$ $HOO^{\cdot} + NO^{\cdot} \rightarrow HO^{\cdot} + NO_2^{\cdot}$ $NO_2^{\cdot} + hv (290-310 \text{ nm}) \rightarrow NO^{\cdot} + O$ $O + O_2 \rightarrow O_3$

Figura 1. Alguns processos de remoção do formaldeído da atmosfera

de formaldeído atmosférico reside na reação dos radicais hidroxila com o metano, sendo também um dos compostos voláteis que se formam nas primeiras etapas da decomposição de resíduos de plantas no solo.⁶¹ A combustão em motores de veículos não equipados com conversores catalíticos constitui uma das principais fontes antropogénicas de formaldeído. Também as centrais elétricas que empregam combustíveis fósseis, as incineradoras de resíduos urbanos e a combustão de biomassa contribuem para as emissões atmosféricas deste agente químico. Também pode ser encontrado na fumaça do cigarro e nas emissões dos combustíveis utilizados para aquecimento ou para cozinhar.^{54,63} As emissões diretas decorrentes da produção e utilização de formaldeído são, ainda, fontes antropogénicas a considerar.^{56,61,64} A deteção de formaldeído em áreas remotas resulta do transporte, desde zonas com atividade antropogénica intensa, de compostos precursores, como etano, propano, acetaldeído, acroleína, metanol e etanol.⁶¹

A fotólise e a reação com radicais hidroxila representam, por outro lado, os principais processos de remoção do formaldeído da atmosfera (Figura 1).^{64,65} Contribuem, ainda, para esta remoção as reações com ozônio, trióxido de hidrogénio e oxigénio, bem como os processos de deposição seca e úmida.^{57,65,66} O formaldeído é um dos principais precursores de ozônio troposférico.⁶⁷

O formaldeído enquadra-se nas 25 substâncias químicas mais abundantemente produzidas no mundo devendo-se sobretudo à sua elevada reatividade, ausência de cor, pureza no formato comercial e, ainda, ao seu baixo custo.^{59,68,69} A produção e utilização de formaldeído têm crescido em todo o mundo, com particular importância na Europa, onde se verificou um aumento de 50% desde 1983 até 2000.⁵⁹ Deve destacar-se também o caso particular da China, onde a produção tem aumentado progressivamente, situando-se por volta das 7,5 mil t em 2007.⁶⁹ A Tabela 2 apresenta estimativas das quantidades produzidas e consumidas em várias regiões do mundo.

Podendo ser comercializado na fase sólida (paraformaldeído) e como trioxano ((CH_2O)₃), o formaldeído é normalmente utilizado e armazenado em solução aquosa de 30 a 50%, a qual habitualmente contém, como agente estabilizador (para evitar a polimerização), o

Tabela 2. Produção e consumo de formaldeído (solução a 37%) em 2000 em várias regiões do Globo. Adaptada das refs. 61 e 70

País/Região	Produção ($\times 10^3$ t)	Utilização global ($\times 10^3$ t)
Canadá	675	620
México	136	137
Estados Unidos	4650	4459
América Central e do Sul	638	636
Europa Ocidental	7100	7054
Europa de Leste	1582	1577
Médio Oriente	454	438
Japão	1396	1395
África	102	102
China	1750	1752
Indonésia	891	892
Malásia	350	350
República da Coreia	580	580
Austrália e Nova Zelândia	304	304

metanol, com uma concentração que pode ser superior a 15%. É um agente químico empregado em várias atividades industriais, designadamente na produção de fertilizantes, papel, madeira compensada e, com particular dimensão, na produção de diversos tipos de resinas.^{60,71} É também utilizado no fabrico de açúcar e cosméticos, na agricultura como conservante de grãos e sementes e na produção de fertilizantes, na indústria da borracha na produção de látex, na preservação da madeira e na produção de filmes fotográficos, na indústria alimentar como agente conservante (alguns tipos de queijos, alimentos secos e peixes), etc.^{61,72} O formaldeído é ainda usado como agente de fumação para limpeza e desinfecção de salas limpas.⁷³ Faz também parte da constituição de várias vacinas.⁷⁴

O formaldeído é utilizado na produção de vários tipos de resinas, como as amínicas, que se obtêm através da sua condensação com aminas, como a ureia e a melamina.⁷⁵ As resinas de ureia e melamina fazem parte dos aditivos de acabamento do papel, com o objetivo de melhorar sua resistência mecânica.^{59,76} As resinas de polivinil formol resultam da reação do formaldeído com alcoóis. O composto final é obtido pela reação da resina com ácido acético, água e formaldeído, utilizando-se ácido sulfúrico como catalisador. Este tipo de resinas é utilizado no fabrico de adesivos e como aditivo na indústria papelaria.^{75,77,78} O formaldeído é igualmente usado na produção das resinas de poliacetato, que incluem as constituídas por homopolímeros do formaldeído ou copolímeros, como o óxido de etileno e 1,3-dioxalano. Pelas suas características de alta dureza, estabilidade química e resistência ao impacto e abrasão, são usadas numa ampla variedade de produtos, como ferramentas, máquinas de embalar alimentos, válvulas, bombas, esquentadores, entre outros.^{61,77,78} Juntamente com o fenol, o formaldeído é utilizado na produção de resinas fenólicas, usadas como adesivos de materiais de abrasão, às quais são adicionados diversos tipos de catalisadores, dependendo das características pretendidas.^{78,79} Todos estes tipos de resinas, de forma isolada, ou em combinação com plastificantes, estabilizantes, endurecedores, agentes secantes, entre outros, são utilizadas em inúmeras aplicações.^{61,76,78} As resinas à base de formaldeído são, por exemplo, extensivamente usadas na produção de aglomerados, contraplacados, laminados, móveis e adesivos de união.⁸⁰⁻⁸² O formaldeído é um componente da maioria das resinas utilizadas no acabamento de produtos têxteis. As resinas reagem com as fibras de celulose alterando suas propriedades físicas e propiciando uma mudança na rigidez e elasticidade o que, por um lado, permite a manutenção de pregas permanentes e, por outro, evita em parte o aparecimento de vincos durante os processos de lavagem e uso.^{61,75,83}

O formaldeído é igualmente empregado na construção civil, sob a forma de espumas de revestimento de ureia-formol. Recentemente foram desenvolvidos revestimentos constituídos por espumas fenólicas, muito usadas na compactação de fibras de vidro e lã mineral e que oferecem baixos coeficientes de transmissão de calor e elevada resistência ao fogo. O formaldeído integra também a maior parte dos materiais de revestimento e acabamentos interiores.^{61,78} Também faz parte da constituição de diversos aditivos acrescentados às tintas para aumentar a capacidade de fixação destas ou para servir como agente bactericida.^{75,84} O formaldeído também intervém na produção de polimetil-polifenil-isocianato (PMDI), produto empregue de forma significativa no fabrico de poliuretanos, que se obtêm pela reação da anilina com o formaldeído na presença de ácido clorídrico e posterior aplicação de fosgênio.^{77,85} Os produtos de poliuretano apresentam inúmeras aplicações (vernizes, colas, pneus, mobílias, colchões, calçados, etc.). Apesar das restrições internacionais terem aumentado, o formaldeído continua a entrar na composição de uma grande variedade de produtos de limpeza, de higiene pessoal e de cosmética (dentífricos, xampus, sabonetes, géis de banho, tintas para cabelo, etc.).^{57,59,86,87} A utilização do formaldeído como conservante e desinfetante na embalsamação de cadáveres e na conservação e fixação de tecidos em hospitais e laboratórios é sobejamente conhecida, pelo que as concentrações atmosféricas em ambientes hospitalares e necrotérios são geralmente elevadas.⁶¹

Pela enorme diversidade de fontes emissoras, o formaldeído é um composto ubíquo. As zonas rurais e remotas apresentam menores concentrações de formaldeído. Concentrações médias de fundo na faixa 0,20-0,67 $\mu\text{g m}^{-3}$ foram reportadas para os Estados Unidos.⁸⁸ Níveis médios significativamente mais elevados foram observados em grandes cidades como Kyoto (4,0 $\mu\text{g m}^{-3}$) e Tóquio (4,1 $\mu\text{g m}^{-3}$).⁸⁹ Em localidades rurais dos Estados Unidos e da Europa registraram-se concentrações na faixa 1,2-3,6 $\mu\text{g m}^{-3}$.^{90,91} Na Grécia foram medidos valores de 9,7 a 17,2 $\mu\text{g m}^{-3}$, devido à adição de metil-*t*-butil éter (MTBE) aos combustíveis automotivos.⁹² Diversas referências situam as concentrações de formaldeído no ar interior em edifícios domésticos na ordem de 0,02 a 0,06 mg m^{-3} , enquanto níveis superiores a 0,5 mg m^{-3} podem ser detetados em habitações recém-mobiladas.⁶² Em autocaravanas, nos Estados Unidos, foram medidos valores de 0,012 a 5,15 mg m^{-3} .⁹³

Métodos de determinação do formaldeído

O formaldeído pode ser medido através de monitores portáteis de leitura direta, por tubos colorimétricos, ou por amostragem com tubos ativos ou passivos com material adsorvente, seguida de análise em laboratório.^{15,21} A maioria dos métodos de amostragem (NIOSH 2016, NIOSH 2541, OSHA 52 e EPA IP-6A) captura o formaldeído em fase gasosa (Tabela 3). Estes métodos são semelhantes no que diz respeito à necessidade de equipamentos, meios de coleta e restrições de fluxo. As diferenças, porém, estão no limite de deteção, na duração da amostragem, nos métodos de análise laboratorial e possíveis interferências.⁹⁴ O método NIOSH 3500 permite a amostragem de formaldeído nas fases líquida, gasosa e sólida, enquanto o método NIOSH 3700 foi concebido para analisar o composto na fase particulada.⁹⁴ As estratégias de amostragem adotadas podem variar consoante o objetivo da medição:¹⁵ verificação da conformidade com os valores guia da OMS; determinação da concentração média de formaldeído ou, avaliação de picos de concentração.

Monitores portáteis

A Tabela 4 apresenta uma compilação de equipamentos comerciais que permitem a medição automática do formaldeído. Os

Tabela 3. Métodos de amostragem do formaldeído

Método	Ref ^a	Meio de coleta	Método analítico
Amostrador ativo de DNPH	NIOSH 2016 EPA TO-11A EPA IP-6A	Tubo adsorvente de sílica gel tratada com DNPH	Cromatografia líquida de alta eficiência com detector UV
Amostrador ativo de 2-(hidroximetil)piperidina	NIOSH 2541 OSHA 52	Tubo adsorvente com XAD-2 tratado com 2-(hidroximetil)piperidina	Cromatografia gasosa com detector FID Cromatografia gasosa com detector seletivo de nitrogênio
Amostrador passivo de DNPH	EPA IP-6C	Tubo adsorvente ou filtro de papel com sílica gel tratada com DNPH	Cromatografia líquida de alta eficiência com detector UV
	ISO 16000-4	Tubo com rede de aço inoxidável preenchida com adsorvente (Florisil [®]) revestido com DNPH	
Colorimétrico com ácido cromotrópico	NIOSH 3500	Filtro de PTFE+2 frascos borbulhadores com bissulfito de sódio. Adição de ácido cromotrópico e sulfúrico à solução de bissulfito após amostragem	Espectrofotometria de absorção no visível

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*; EPA - *Environmental Protection Agency*; OSHA - *Occupational Safety and Health Administration*; ISO - *International Organization for Standardization*; DNPH - dinitrofenil-hidrazina; UV - ultravioleta; PTFE - politetrafluoretileno (*teflon*); XAD - resina macro-reticular de estireno-divinilbenzeno; FID - detector de ionização em chama

monitores eletroquímicos são analisadores ativos de leitura direta. O formaldeído reage eletroquimicamente no eletrodo específico para aldeídos, gerando uma corrente elétrica proporcional à concentração. Uma pequena bomba interna do monitor faz a coleta do ar continuamente. O nível mínimo detectável está na faixa de 0,2 a 5 ppm. As vantagens destes monitores são portabilidade, rapidez de resposta, simplicidade de funcionamento e capacidade de medição contínua. As desvantagens são o tempo de vida limitado do detector, bem como os limites de detecção e sensibilidade. Os monitores fotométricos possuem pequenos dispositivos onde é promovida a reação química do formaldeído com um reagente (e.g. dicetona, pararosanilina, etc.) gerando um derivado colorido, cuja absorvância é lida num sensor. Embora não permitam respostas temporais da ordem de segundos, como os monitores eletroquímicos, apresentam sensibilidades mais elevadas, possibilitando medições na faixa das dezenas ou centenas de ppb. O método da pararosanilina, referido pelo método IP-6B da EPA, tem sido utilizado em analisadores contínuos comerciais. O analisador mede a concentração do formaldeído através do monitoramento da alteração originada, quando reagentes específicos entram em contato com o ar amostrado. A intensidade da cor é diretamente proporcional à concentração de formaldeído. A reação química é influenciada pelas alterações atmosféricas e condições operatórias, nomeadamente, alterações na temperatura, pressão e radiação.¹⁰³

Tubos colorimétricos

Os tubos colorimétricos contêm uma substância química absorvida numa matriz sólida ou líquida que reage na presença do formaldeído, para produzir uma substância que apresenta cor. As concentrações

são lidas diretamente no tubo calibrado através do comprimento da mancha da cor desenvolvida. Os tubos necessitam de uma bomba manual ou mecânica. Estão disponíveis tubos colorimétricos para várias faixas de sensibilidade. Para níveis do ar interior ditos limpos, este método é apenas marginalmente sensível, mas pode ser útil na identificação da presença de fontes e sua avaliação. Alguns tubos podem medir na faixa de 0,2 a 5 ppm.

Amostradores ativos

Os métodos NIOSH 2016, EPA TO-11A e IP-6A baseiam-se na aspiração de uma amostra de ar (100 a 1000 mL min⁻¹ (EPA-6A), 100 a 2000 mL min⁻¹ (EPA TO-11A) ou 30 a 1500 mL min⁻¹ (NIOSH 2016) recorrendo a uma bomba. Nestes métodos, cujo meio de coleta é a sílica gel tratada com 2,4-dinitrofenil-hidrazina, o formaldeído combina-se com a DNPH dando origem a compostos secundários (carbonil-hidrazonas) que são extraídos posteriormente do amostrador com acetonitrila. Em seguida, o extrato é analisado por CLAE com detecção por absorção na região do ultravioleta.^{15,94} O método IP-6A da EPA pode ser usado em amostras de longa duração (1 a 24 h) ou de curta duração (5 a 60 min), a temperaturas entre 10 a 100 °C. Os tubos referidos neste método têm uma capacidade máxima de amostragem de 75 µg de formaldeído, com um limite de detecção de 0,03 µg.^{103,104} O ozônio é o principal interferente nos procedimentos de amostragem que recorrem ao DNPH. Na presença de elevadas concentrações de oxidante ([O₃] > 980 µg m⁻³) o reagente derivatizante pode ser consumido, diminuindo a eficiência de coleta do formaldeído. Para minimizar ou eliminar esta interferência é comum utilizar um tubo (designado habitualmente por *scrubber*) revestido com uma

Tabela 4. Características técnicas de equipamentos de medição automática do formaldeído

Marca e modelo	Método	Faixa de concentração	Exatidão	Tempo de resposta	Resolução
Formaldehyde Monitor Z-300 ⁹⁵	Eletroquímico	0 a 30 ppm	± 0,3 ppm	< 60 s	0,01 ppm
Hal Tech HAL-HFX205 ⁹⁶	Eletroquímico	0 a 5 ppm	---	< 30 s	0,01 ppm
PPM Technology Formaldemeter htV Airborne Formaldehyde Monitor ⁹⁷	Eletroquímico	0 a 10 ppm	± 0,3 ppm	< 60 s	0,01 ppm
Interscan Portable Gas Analyzer Model 4160-2 ⁹⁸	Eletroquímico	0 a 19,99 ppm	± 0,4 ppm	---	---
CEA Instruments Inc. TG-1900KA ⁹⁹	Eletroquímico	0 a 2 ppm	---	< 30 s	0,01 ppm
RKI FP-40 Formaldehyde Monitor ¹⁰⁰	Fotometria	0 a 0,06 ppm	± 10%	180 s	0,01 ppm
GrayWolf FM-801 ¹⁰¹	Fotometria	< 20 a 1000 ppb	± 10 ppb	30 min	1 ppb
SHINYEI Formaldehyde Multimode Monitor FMM-MD ¹⁰²	Fotometria	20 a 1000 ppb	± 10%	30 min	1 ppb

substância que reaja como o ozônio (e.g. KI), antes da passagem da corrente gasosa pelo tubo ou cartucho de DNPH.

O método NIOSH 2541 utiliza tubos com 60/120 mg de material adsorvente constituído por (2-hidroximetil) piperidina em XAD-2. O fluxo de amostragem varia de 0,01 a 0,10 L min⁻¹. As amostras mantêm-se estáveis a 25 °C durante 3 semanas. A dessorção do formaldeído é efetuada com 1 mL de tolueno, agitando durante 60 min num banho de ultrassons. O poluente é analisado como oxazolidina por cromatografia gasosa com detetor de ionização em chama. O método é aplicável para faixas de concentração de 0,3 a 20 mg m⁻³ para amostras de 10 L de ar. Não são conhecidas interferências. Os princípios do método OSHA 52 são em tudo semelhantes ao do método NIOSH 2541, excetuando o uso de um detetor específico de nitrogénio-fósforo (DNP).

Amostradores de passivação/difusão

Nos amostradores passivos a coleta do gás é feita por processos de difusão em cartuchos ou tubos com um meio adsorvente impregnado com 2,4-DNPH dando origem a carbonil-hidrazonas que são extraídas com acetoneitrila, sendo depois analisadas por espectrofotometria em UV ou por cromatografia líquida acoplada com um detetor de UV, tal como no método anterior.^{103,104} Os amostradores passivos são fáceis de manusear, têm boa sensibilidade para níveis de concentrações em frações molares de ppb, e o período de amostragem pode ir desde horas até 15 dias, dependendo da atmosfera avaliada. Permitem a obtenção de uma concentração média para o período de amostragem. No método IP-6C, um filtro revestido é colocado num amostrador passivo de polipropileno com vários orifícios de entrada, que recolhem o formaldeído através do processo de difusão controlada. O amostrador é aberto por uma tampa deslizante para expor os orifícios, contendo dois compartimentos de filtros: o filtro impregnado com DNPH é colocado sob os orifícios de difusão e é utilizado para a coleta de amostra; o outro filtro é usado como “branco”. Atualmente estão disponíveis no mercado amostradores deste género que foram validados para amostragens em locais de trabalho, com durações entre 15 min a 8 h. O amostrador consegue facilmente detetar níveis de 5 ppb para exposições de 8 h. Para exposições de 24 h consegue detetar níveis de 2 ppb.^{103,104} Para amostragens de 15 min a 24 h, a taxa média de amostragem do formaldeído é de 28,6 mL min⁻¹; para 7 dias de amostragem a taxa é de 20 mL min⁻¹. A taxa de absorção depende do coeficiente de difusão de formaldeído.^{103,104} Antes de serem usados, os filtros deverão ser preservados a temperaturas inferiores ou iguais a 4 °C durante 1 ano no máximo, após o seu fabrico. Após os filtros serem usados, caso a análise por cromatografia líquida não seja imediata, existe a possibilidade de armazenar os filtros a temperaturas inferiores ou iguais a 4 °C, durante 3 semanas no máximo. Os filtros têm uma capacidade de amostragem de 29 µg de formaldeído.^{103,104} O método ISO 16000-4 especifica a amostragem passiva por difusão do formaldeído em ambientes interiores, a dessorção com solvente e a determinação do poluente por CLAE. É aplicável a concentrações variáveis de 0,001 a 1,0 mg m⁻³ e períodos de amostragem de 24 a 72 h. Para períodos de amostragem de 24 h, a faixa de concentração aplicável é 0,003-1 mg m⁻³, enquanto para 72 h é 0,001-0,33 mg m⁻³.¹⁰⁵ O método é apropriado para medições em atmosferas com umidades relativas até 80% e velocidades do ar consideravelmente baixas (0,02 m s⁻¹). As potenciais interferências, incluindo a presença de outros compostos carbonílicos, devem ser eliminadas na etapa cromatográfica do método.

Método do borbulhador

O método espectrofotométrico do ácido cromotrópico em meio de ácido sulfúrico concentrado (NIOSH 3500) destaca-se por

apresentar grande sensibilidade e alta seletividade. Relativamente a outros métodos, a amostragem é mais difícil, uma vez que o meio de coleta é um líquido difícil de manusear e durante longos períodos de amostragem pode vaporizar. No entanto, este método requer menos tempo de amostragem, proporcionando um bom limite de deteção e embora presentes, as interferências analíticas (fenol, etanol e outros alcoóis) são mínimas. Trata-se de um método colorimétrico em que o formaldeído reage com uma mistura de ácido sulfúrico-ácido cromotrópico - para formar um complexo púrpura cuja concentração é determinada por espectrofotometria no visível a 580 nm.¹⁰⁶ Este método utiliza uma cassete com filtro de PTFE de 1 a 3 µm, sobre um suporte de aço inoxidável, seguido de dois frascos borbulhadores (*impingers*) com solução de bissulfito de sódio, ligados por tubo flexível inerte e um fluxo de amostragem de 0,2 a 1 L min⁻¹. A seguir, as amostras são transferidas para frascos de polietileno para transporte até ao laboratório e caso a análise não seja imediata, poderão ser conservadas por até 30 dias a 25 °C. No laboratório, 4 mL de cada amostra são misturados com o ácido cromotrópico e o ácido sulfúrico, e a coloração púrpura obtida é analisada por espectrofotometria de absorção no visível.¹⁵

MECANISMOS DE EXPOSIÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE INFANTIL

O formaldeído está presente em baixas concentrações na maioria dos organismos vivos. Quantidades fisiológicas de formaldeído são formadas endogenamente a partir da desmetilação dos grupos N-, O- e S- de aminoácidos como serina, glicina, metionina e colina. O formaldeído exógeno penetra no organismo principalmente por via respiratória. A penetração por via dérmica é usualmente baixa, enquanto a via digestiva representa uma situação esporádica, ocorrendo apenas em situações acidentais ou por contaminação alimentar. Devido à sua solubilidade na água, o formaldeído que penetra por inalação é rapidamente absorvido nos tratos respiratório e gastrointestinal e fortemente metabolizado a formiato na própria zona de absorção.⁶¹ Por serem componentes normais do metabolismo intermediário, nem o formaldeído, nem o formiato são armazenados de forma significativa por qualquer tecido do nosso organismo. O formiato ou é excretado na urina (principalmente como ácido fórmico), incorporado a outras moléculas celulares ou oxidado a dióxido de carbono exalado. Além da conversão a formiato e posterior eliminação do organismo, o formaldeído absorvido pode seguir outras vias, sobretudo quando ocorre exposição a concentrações elevadas. Pode reagir instantaneamente com aminas primárias e secundárias, tióis, hidroxilas e amidas para formar derivados de metilol (-CH₂OH). Pode ligar-se de forma reversível à cisteína para formar tiazolidina-4-carboxilato. Pode unir-se também à ureia originando adutos hidroximetila ou, ainda, reagir com macromoléculas como o ácido desoxirribonucleico (DNA), ácido ribonucleico (RNA) e proteínas para formar adutos reversíveis ou irreversíveis.^{59,61}

São várias as enzimas abrangidas na oxidação do formaldeído (Figura 2), nomeadamente a desidrogenase do formaldeído (ADH3), a aldeído desidrogenase, a S-formilglutationa hidrolase, a glioxalase e, por último, a catalase (ou hidropoxidase).^{61,72,107} Contudo, a desidrogenase do formaldeído (ADH3) é a principal responsável pela metabolização deste agente químico.⁶¹ Na presença de glutationa (GSH), o formaldeído gera espontaneamente o aduto S-hidroximetilglutationa. Este é oxidado pela enzima desidrogenase do formaldeído, dependente da GSH, originando S-formilglutationa com a simultânea redução de NAD⁺.⁶¹ O formaldeído reage de forma espontânea e reversível com a glutationa (GSH) que ocorre nas células para gerar S-hidroximetilglutationa; por ação da enzima desidrogenase do formaldeído (ADH3), a S-hidroximetilglutationa, na

presença de NAD^+ , é convertida em S-formilglutaciona; na presença de água, a S-formilglutaciona é transformada, através da hidrolase da S-formilglutaciona, em glutaciona e formiato (ácido fórmico).

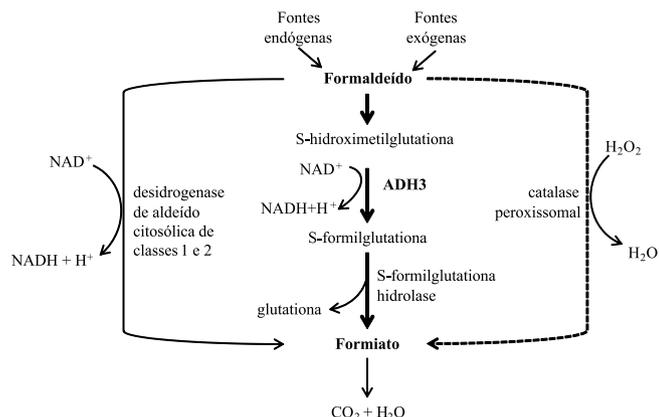


Figura 2. Metabolismo do formaldeído

Assim, a enzima desidrogenase do formaldeído desempenha um papel fundamental na defesa do organismo contra a ação do formaldeído e dos seus adutos.^{61,108} A constatação de efeitos tóxicos e carcinogênicos em estudos experimentais com exposições a formaldeído inferiores a 6 ppm tem sido atribuída à saturação da ADH3 ou à depleção da GSH. Para além da ADH3, o formaldeído pode também ser metabolizado por uma aldeído-desidrogenase que atua independentemente da presença de GSH. Nos humanos encontram-se formas diversas desta enzima. Duas destas formas, a desidrogenase de aldeído citosólica de classe 1 (ALDH1) e a desidrogenase de aldeído mitocondrial de classe 2 (ALDH2), têm afinidade com o formaldeído livre, tornando-se relevantes de forma crescente com o aumento das concentrações do poluente.^{72,109} Tal como observado para a ADH3, também para estas duas enzimas foram reportados polimorfismos genéticos responsáveis por uma acentuada redução da capacidade de oxidação do formaldeído.¹⁰⁸

A enzima S-formilglutaciona hidrolase tem como função catalisar a hidrólise da S-formilglutaciona em formiato e GSH, apresentando, na maioria dos tecidos, uma atividade 600 a 2000 e 10 a 30 vezes superiores à da ADH3 e da glioxalase II, respetivamente.¹¹⁰ Esta última enzima catalisa a hidrólise da S-formilglutaciona em formiato e GSH. Apresenta, porém, menor atividade do que a ADH3 na maior parte dos tecidos.^{72,111} Por último, o formaldeído pode também ser oxidado pela catalase. Este processo é particularmente importante nas situações de depleção da GSH.^{72,107,111}

Assim, o formaldeído pode ser oxidado em duas etapas, nas quais intervêm duas enzimas catalisadoras diferentes (a ADH3 e a hidrolase da S-formilglutaciona), sem consumo da glutadiona (GSH).¹⁰⁸ A GSH é uma molécula indispensável por desempenhar um papel antioxidante contra a ação de vários agentes agressores do organismo. Apresenta outras funções importantes como a síntese e reparação do DNA, síntese proteica, transporte de aminoácidos, metabolismo de outras toxinas e agentes cancerígenos e, ainda, a ativação enzimática.⁶¹ Face ao exposto, facilmente se entende a importância de não ser consumida nas reações que abrangem o metabolismo do formaldeído.^{112,113} Tal como já referido, os metabólitos resultantes da ação destas enzimas, nomeadamente o ácido fórmico e o dióxido de carbono, são eliminados do organismo através da urina e do ar exalado, respetivamente (Figura 2).^{59,61,72}

Não se conhecem exatamente os mecanismos de atuação do formaldeído que desencadeiam efeitos toxicológicos. Provavelmente a toxicidade é manifestada quando os seus níveis intracelulares saturam

a atividade da desidrogenase do formaldeído (ADH3) excedendo, assim, as capacidades naturais de proteção e conduzindo à livre presença de moléculas não metabolizadas.⁶¹ Embora diversos estudos epidemiológicos estabeleçam relações causais entre a exposição a formaldeído e a manifestação de sintomas, é necessário rigor na atribuição da responsabilidade exclusiva a este agente químico, dado que, em contexto ocupacional, ocorre frequentemente a exposição simultânea a outros poluentes.¹¹⁴ A *International Agency for Research on Cancer* (IARC) concluiu que o formaldeído é cancerígeno para os seres humanos e há evidências suficientes que indicam que a exposição ao poluente pode causar vários tipos de câncer em seres humanos, sobretudo associados ao aparelho respiratório. Embora o formaldeído tenha sido previamente classificados pelo IARC no Grupo 2A (“provavelmente cancerígeno para seres humanos”), foi reclassificado, em 2004, como um agente pertencente ao Grupo 1 (“cancerígeno para humanos”).

De modo geral, o formaldeído inicia o processo de atuação assim que o seu vapor é inalado ou por contato dérmico com a sua forma líquida. O efeito mais comum da exposição é a irritação dos olhos, nariz e garganta, a qual se pode fazer sentir inclusivamente para níveis tão baixos como inferiores a 0,01 ppm (Tabela 5). Esta exposição em forma gasosa pode causar vermelhidão nos olhos, lacrimejamento e ardência, espirros, tosse e dor de garganta. No entanto, estes sintomas dependerão da tolerância e sensibilidade de cada pessoa.¹¹⁵ A exposição à forma líquida pode danificar a córnea, causando cegueira. O contato direto de soluções de formaldeído com a pele pode destruir a oleosidade natural, tornando-a ressecada e descamada, causando posteriormente gretas, dermatite (erupção cutânea) e reação alérgica (vermelhidão, prurido, urticária e bolhas). Concentrações de 5-30 ppm ou superiores podem irritar gravemente os pulmões, causando dores no peito e falta de ar. Os efeitos a longo prazo do produto sobre os pulmões ainda não estão totalmente compreendidos.¹¹⁵

Tabela 5. Efeitos na saúde por exposição a formaldeído

Concentração de formaldeído (ppm)	Efeitos na saúde
< 0,05	Não observados
0,05 – 1,5	Efeitos neurofisiológicos
0,05 – 1,0	Limite do odor
0,01 – 2,0	Irritação dos olhos
0,10 – 25	Irritação das vias respiratórias superiores
5 – 30	Irritação das vias respiratórias e efeitos nos pulmões
50 – 100	Edemas pulmonares, inflamações, pneumonia
> 100	Coma, morte

Perante as evidências quotidianas e recolhidas quer com experimentação animal, quer com voluntários expostos ao formaldeído, várias autoridades em todo o mundo lançaram normativas (Tabela 6) que regulamentam os limites de exposição. A falta de consistência no padrão de dose-resposta e, ainda, a escassez de dados referentes à exposição justificam a discordância entre as várias diretrizes internacionais. Estas têm sofrido alterações à medida que se estabelecem relações causais mais claras entre certas sintomatologias e a exposição ao formaldeído e se conhecem mais detalhadamente os mecanismos de ação.

O interesse pelos efeitos da exposição ocupacional ao formaldeído surgiu na década de 1980, após um elevado número de queixas de residentes em casas isoladas com espumas de ureia-formaldeído, reportando irritações nos olhos, nariz e vias respiratórias superiores.¹¹⁷ A exposição ocupacional a elevados níveis de formaldeído foi

Tabela 6. Diretrizes internacionais e valores recomendados para o formaldeído em ambientes interiores. Adaptada da ref. 116

País ou Organização	Ano de ref ^a	Valor	Comentários	
Austrália	2006	0,08 ppm	100 µg m ⁻³	Curta duração
Canadá	2005	0,1 ppm	120 µg m ⁻³	1 h
		0,04 ppm	50 µg m ⁻³	8 h
China	2003	0,08 ppm	100 µg m ⁻³	Média horária
Finlândia	2001	0,024 ppm	30 µg m ⁻³	S1
		0,04 ppm	50 µg m ⁻³	S2
		0,081 ppm	100 µg m ⁻³	S3
Suécia	2000	0,081 ppm	100 µg m ⁻³	Adotado da OMS
França	2008	0,04 ppm	50 µg m ⁻³	2 h
Reino Unido	2004	0,081 ppm	100 µg m ⁻³	0,5 h
Portugal	2006	0,081 ppm	100 µg m ⁻³	30 min
Hong Kong	2003	0,024 ppm	30 µg m ⁻³	8 h (a)
		0,081 ppm	100 µg m ⁻³	8 h (b)
Coreia	2004	0,1 ppm	120 µg m ⁻³	8 h
OSHA	2009	0,75 ppm	0,92 µg m ⁻³	8 h
		2 ppm	2,46 mg m ⁻³	15 min
MAK	2000	0,3 ppm	370 µg m ⁻³	8 h
		1,0 ppm	1,23 µg m ⁻³	(c)
ACGIH	2004	0,04 ppm	50 µg m ⁻³	(d)
NIOSH	2004	0,016 ppm	20 µg m ⁻³	10 h
		0,1 ppm	120 µg m ⁻³	15 min
OMS/Europa	2010	0,081 ppm	100 µg m ⁻³	30 min

S1 – Categoria correspondente à melhor qualidade do ar (maior grau de satisfação e menores riscos para a saúde); S2 – Categoria correspondente à qualidade do ar boa; S3 – Categoria correspondente à qualidade do ar satisfatória; (a) Limite para qualidade do ar excelente; (b) Limite para qualidade do ar boa; (c) Nunca deve ser excedido; (d) Valor máximo admissível; OSHA – *U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration*; MAK – *Maximum Concentrations at the Workplace and Biological Tolerance Values for Working Materials, Commission for the Investigation of Health Hazard of Chemical Compounds in the Work Area, República Federal da Alemanha*; ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*; NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*; OMS – Organização Mundial de Saúde

também considerada um fator de risco para o desenvolvimento de câncer nasofaríngeo.¹¹⁸ Após a década de 1990, foram divulgados vários estudos sobre associações entre os níveis de formaldeído em lares e/ou escolas e asma,¹¹⁹⁻¹²³ alergia,^{121,124,125} e inflamação das vias respiratórias em crianças.¹²⁶ Existem algumas evidências de que o formaldeído é um agente sensibilizador respiratório, embora a discussão seja controversa. Devido à sua massa molar, é considerada uma substância demasiado pequena para estimular a formação de anticorpos específicos.⁵¹ Contudo, pode ligar-se à albumina do soro humano (HSA) para formar um conjugado de um antígeno.¹¹⁸ A investigação sobre o desenvolvimento de anticorpos formaldeído-HSA não é consensual.^{127,128} Nos últimos anos, todavia, alguns estudos têm associado baixos níveis de formaldeído em escolas ou lares a marcadores de alergias na população infantil.¹²⁵ Por exemplo, foi encontrada uma relação entre a síntese de anticorpos da classe IgE (imunoglobulina E) e a resposta imediata de hipersensibilidade das crianças contra o formaldeído (sensibilização ao alérgeno) em escolas.¹²⁵ Por outro lado, outros pesquisadores constataram que apenas 2 de 122 crianças asmáticas possuíam anticorpos IgE na sequência da exposição ao formaldeído, concluindo que o poluente não é desencadeador da asma infantil.¹²⁹ Contrariamente, também se concluiu que a inalação de formaldeído pode provocar inflamação

das mucosas das vias respiratórias, sendo produzidas citocinas da categoria das interleucinas, desencadeadoras de crises asmáticas.¹³⁰ Recentemente foi demonstrado que o formaldeído pode alterar os mecanismos bioquímicos das substâncias com grupos tiol (SH), conduzindo a uma acelerada redução do broncodilatador endógeno S-nitrosoglutationa, constituindo outra via de desencadeamento de doenças respiratórias.¹³¹

Em lares, foi reportada uma associação entre os níveis de CH₂O e a atopia avaliada quer pela positividade do teste cutâneo (*prick-test*) realizado a crianças, quer pela severidade das reações.¹²¹ Numa outra pesquisa foi observado um aumento de bactérias específicas IgG e de monócitos no sangue em crianças asmáticas residentes em lares com elevadas concentrações de formaldeído.¹²⁴ Porém, nenhum destes estudos foi capaz de demonstrar uma associação entre marcadores de sensibilização e sintomas respiratórios nas crianças. As implicações das observações efetuadas requerem estudos adicionais.^{51,53,54}

Os estudos direcionados para a procura de uma associação entre a exposição ocupacional ao formaldeído e a asma infantil têm conduzido, de fato, a conclusões antagónicas. Enquanto alguns estudos reportam uma associação positiva,^{54,121,132} outros mencionam que não existe relação.^{129,133} Todavia, todos estes trabalhos apresentam limitações específicas, incluindo amostras populacionais de reduzido tamanho,¹³⁴ a inclusão de prevalências de asma resultantes de auto-diagnóstico,¹²³ entre outras. Por outro lado, as faixas de concentração avaliadas nos diferentes estudos variam enormemente. Por exemplo, são observados níveis de 3-20 µg m⁻³,¹³⁵ ou mesmo de 0-224 µg m⁻³.¹²⁰ Além disso, os estudos são, na sua maioria, seccionais cruzados e falham no que se refere à disponibilização de informação sobre os níveis de exposição individuais quer em magnitude, quer em duração.⁵⁴ Embora se encontrem na literatura trabalhos de revisão sobre asma infantil e formaldeído, estes têm sido sobretudo de natureza qualitativa.¹³⁶ Recentemente, foi efetuada a compilação e sistematização dos dados da literatura existente com o objetivo de clarificar a existência de uma relação causal entre o poluente e a manifestação desta doença inflamatória em crianças com idade escolar.⁵⁴ Com base nos valores publicados em cada estudo,^{119-121,123,135,137,138} foi usado um modelo estatístico de efeito fixo e outro de efeito aleatório para estimar a razão de risco com um intervalo de confiança de 95%.⁵⁴ O modelo de efeito fixo, isto é, aquele que não considerava as variações entre estudos, indicou que a prevalência da asma aumenta 3% por cada incremento de 10 µg m⁻³ nos níveis de exposição ao formaldeído. O modelo de efeito aleatório apontou para um aumento de 17% na prevalência da asma infantil para igual incremento nas concentrações do poluente. Depois de terem sido excluídos da meta-análise os dados de um dos estudos que se julgou produzir uma influência excessiva e inadequada na interpretação global, os investigadores estimaram um aumento relativo de 24% na prevalência da doença.⁵⁴ A compilação bibliográfica efetuada pelos mesmos autores permitiu ainda constatar que as associações entre asma e exposição ao formaldeído encontradas em escolas são mais robustas quando comparadas com as observadas em residências.

CONCENTRAÇÕES EM SALAS DE AULA E RELAÇÃO COM NÍVEIS NO EXTERIOR

As primeiras medições de formaldeído, em escolas para crianças, reportam a 1982. Na Dinamarca, foram medidos os níveis do poluente em 7 trailers e em 3 edifícios permanentes. A concentração média obtida nas construções pré-fabricadas móveis foi de 460 µg m⁻³ (faixa: 260-600 µg m⁻³), aproximadamente 5 vezes superior à média de 86 µg m⁻³ observada nos edifícios permanentes.¹³⁹ As irritações das mucosas nasais, oculares e da garganta foram reportadas com uma frequência 3 vezes superior pelos ocupantes dos estabelecimentos

móveis comparativamente com as crianças que frequentavam os edifícios permanentes.

Nos Estados Unidos, foram reportados os resultados das medições de formaldeído efetuadas em 6 escolas, no Pacífico Nordeste, que não tinham apresentado quaisquer queixas sobre problemas de QAI.¹⁴⁰ As concentrações médias de 10 dias situaram-se geralmente abaixo de $60 \mu\text{g m}^{-3}$. Num outro estudo, em Washington D.C., foram medidas as concentrações de formaldeído em vários edifícios públicos, incluindo uma escola sem problemas aparentes de QAI. Foi encontrada uma amostra com um nível detetável ($15 \mu\text{g m}^{-3}$), enquanto as outras se situavam abaixo do limite de deteção ($12 \mu\text{g m}^{-3}$).^{141,142} Foram também reportados os resultados das medições efetuadas numa escola de Michigan após serem implementadas medidas mitigadoras na sequência de várias queixas sobre a QAI. As concentrações médias foram de $12,3 \mu\text{g m}^{-3}$, quer nos períodos de ocupação, quer com a escola vazia.¹⁴³

As concentrações médias de formaldeído em 10 escolas de Milão, Itália, e em 10 escolas localizadas em Paris foram monitoradas na década de 1990.^{144,145} Os níveis medidos situaram-se geralmente abaixo de $60 \mu\text{g m}^{-3}$, embora alguns valores ultrapassassem os limiares de irritação estabelecidos para a época ($67,6$ - $98,3 \mu\text{g m}^{-3}$). Entre 1993 e 1995, foi realizado um estudo em 181 salas de aula em Uppsala, Suécia, reportando medianas inferiores a $5 \mu\text{g m}^{-3}$.¹⁴⁶ Os baixos valores obtidos foram associados à idade significativa das escolas e ao decaimento ao longo do tempo das emissões dos materiais e mobiliário. Noutro estudo, foram reportados os resultados de 20 dias consecutivos de medições, no inverno, em salas de aula de 2 escolas do ensino básico localizadas em Nis, antiga Iugoslávia.¹⁴⁷ As concentrações de formaldeído obtidas na escola situada na zona industrial, numa rua movimentada, e na escola fixada longe de fontes de poluição foram, respetivamente, $0,8 \pm 9,3$ (0 - $27,3$) e $0,03 \pm 7,6$ (0 - $0,1$) $\mu\text{g m}^{-3}$. A antiguidade do mobiliário e das construções foram também apontadas pelo autor para justificar as baixas concentrações medidas.

Relativamente ao Brasil, são poucos os registos relacionando QAI e SED. O fato do Brasil ter um clima tropical torna-o favorecido em relação aos países que necessitam do uso constante de sistemas de refrigeração ou de calefação.¹⁴⁸ Porém, na literatura são encontrados alguns dados sobre o formaldeído em ambiente escolar em algumas das principais capitais do país, especialmente nas grandes metrópoles. Foi, por exemplo, estudada a presença de compostos carbonílicos em 14 locais de trabalho em São Paulo, entre os quais uma escola.¹⁴⁹ O formaldeído foi o composto carbonílico mais abundante. As 2 amostras obtidas no interior da escola continham concentrações do poluente de 19,2 e 16,3 ppb, representando valores 2 e 1,2 superiores aos obtidos no exterior.

Na cidade do Rio de Janeiro, foi realizado um estudo envolvendo 6 salas de aula de um complexo escolar localizado próximo ao Sambódromo, a uma fábrica de cerveja e a uma avenida muito congestionada.¹⁵⁰ Os resultados do estudo identificaram 2 das salas com níveis de formaldeído relativamente altos, diferindo de uma outra sala que apresentou concentrações 6 vezes superiores. Provavelmente, segundo os autores, este fato ocorreu por alguma fonte emissora interna ou algum pico no nível de concentração de fontes externas no dia em que foi realizada a pesquisa. Já a sala pertencente a uma escola no morro de Santa Teresa apresentou valores bem mais baixos que as demais. Os níveis medidos nas 6 salas de aula oscilaram entre 58,7 e $701 \mu\text{g m}^{-3}$. Os autores concluíram que o formaldeído esteve acima do valor de exposição de $20 \mu\text{g m}^{-3}$ recomendado pela NIOSH.

Em Curitiba, foi investigada a QAI em 2 escolas do ensino primário localizadas numa área residencial com densidade de tráfego médio.¹⁵¹ As salas de aula escolhidas estavam localizadas no piso térreo ou no primeiro andar (quando disponível); caracterizavam-se

por serem naturalmente ventiladas com portas e janelas abertas e estavam equipadas com quadro branco, marcadores, mobiliário feito de plástico e metal, não havendo armário. Os autores tentaram avaliar quantitativamente vários poluentes gasosos, particularmente o ácido fórmico (HFor), o qual é produto da metabolização do formaldeído no organismo humano. Foram encontradas concentrações de HFor relativamente altas nas 2 escolas analisadas. Os autores atribuíram os níveis observados à poluição proveniente do exterior, associada sobretudo às emissões de veículos a gasolina, uma vez que as salas sempre estavam com janelas e portas abertas para melhor ventilação do ambiente.

Em Fortaleza foi realizado um estudo semelhante.¹⁵² Contudo, a avaliação recaiu sobre uma instituição de ensino superior - Universidade Federal do Ceará. Apesar de não existirem indústrias na zona circundante do campus, este é, no entanto, rodeado por uma área povoada e algumas rodovias. Dentro do campus, há tráfego de veículos leves. Vários locais do campus, nomeadamente salas de aulas, foram selecionados para se determinar os níveis de formaldeído quer no ar interior, quer exterior. A média dos níveis do poluente em ambiente exterior foi de $2,8 \mu\text{g m}^{-3}$, o que representou valores menores que os relatados para outras áreas urbanas, como Rio de Janeiro,¹⁵³ Guangzhou, na China,¹⁵⁴ Atenas, na Grécia⁹² ou Xalapa, no México,¹⁵⁵ mas mais elevados do que os observados em áreas rurais no Brasil,¹⁵⁶ ou nas proximidades de autoestradas em países nórdicos.¹⁵⁷ Relativamente ao ambiente interior, os resultados mostraram números em torno de $12,42 \mu\text{g m}^{-3}$. Como resultado das emissões dos materiais e do manuseamento de vários produtos químicos durante as atividades diárias, tal como observado noutros estudos, os níveis no ambiente interior foram mais elevados do que os do exterior.

Parante a escassez de dados relacionados com a avaliação dos níveis de formaldeído em escolas brasileiras, acredita-se ser de fundamental relevância uma avaliação exaustiva deste poluente em ambientes escolares. Junto com estudos epidemiológicos, o monitoramento da qualidade do ar deve prever a realização simultânea de medidas externas e internas para uma identificação mais exaustiva das fontes emissoras, de forma a propor medidas mitigadoras focalizadas para proteção da saúde infantil. Entre os fatores limitantes ao desenvolvimento de estudos da QAI no Brasil, pode-se destacar a falta de legislação específica que estabeleça padrões e metodologias de amostragem para compostos orgânicos. Os limites estabelecidos pela NIOSH servem somente a título de comparação, já que não apresentam valor legal no Brasil e são valores talvez impossíveis de serem atendidos em algumas metrópoles brasileiras. O problema é que no Brasil, particularmente, uma fonte usual de aldeídos são os veículos que fazem uso de combustíveis como a gasolina com 25% de etanol ou, mais recentemente, os veículos *flex* que podem rodar com 100% de etanol ou qualquer outra combinação de etanol e gasolina. Recentemente, o aumento do número de veículos movidos a gás natural, em substituição dos veículos movidos a etanol ou gasool, foi apontado como a principal causa para o acréscimo muito significativo das concentrações de formaldeído na atmosfera do Rio de Janeiro.¹⁵⁸

As concentrações de diferentes poluentes do ar no interior em escolas coreanas foram determinadas buscando posteriormente comparar os níveis obtidos de acordo com o número de anos de construção do prédio escolar.¹⁵⁹ Os autores preocuparam-se em coletar amostras do ambiente interior e exterior de uma sala de aula, um laboratório e uma sala de informática, em 55 escolas diferentes das 6 regiões metropolitanas na Coreia, incluindo jardins de infância, escolas primárias, de ensino médio e superiores (Tabela 7). As concentrações de formaldeído encontradas dentro das salas de aula foram de 0,01 a 0,80 ppm; nos laboratórios foram de 0,01 a 0,91 ppm e nas salas de informática foram de 0,01 a 0,30 ppm. Os resultados obtidos

mostraram claramente que os valores de exposição ao formaldeído nas escolas ultrapassam o padrão coreano para ar interior. O trabalho permitiu ainda constatar que as escolas recentemente construídas e de ensinos médio e superior são as que apresentam níveis de formaldeído mais elevados em seus ambientes interiores. Estes resultados mostram que as políticas de renovação e reconstrução das escolas objetivando melhorias nas condições estruturais para proporcionar bem-estar às

crianças podem, por outro lado, influenciar negativamente a QAI, uma vez que os materiais de construção, os produtos de acabamento (tintas, vernizes, etc.) e o mobiliário recente à base de madeira representam fontes emissoras importantes de formaldeído em ambientes interiores. Para reduzir a exposição de crianças em idade escolar aos poluentes indesejáveis, os autores aconselham o uso de sistemas de ventilação mecânica e poucos produtos de decoração.

Tabela 7. Concentrações de formaldeído observadas, em investigações recentes, no ar interior em estabelecimentos escolares em várias regiões

Região	Período	Número de escolas	Concentrações ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Ref ^a
Região Oeste da Austrália	2002	4	3-38	160
Los Angeles, EUA	jun. 2000-jun. 2001	7	17,8±3,8 (edifícios principais) 22,0±6,9 (salas em contentores pré-fabricados)	37
Hong Kong	nov. 1997-jan. 1998	5	< l.d. – 27	161
Hong Kong		10	16±12	162
Seis áreas metropolitanas, Coreia	jul.-dez. 2004	55	110±135 (verão) 147±258 (outono) 86±135 (inverno)	159
Coreia		17*	36,3±31,3 (meio urbano) 32,1±20,9 (meio rural)	163
Taiyuan, China	dez. 2004	10	2,3 ± 1,1	138
Shanghai, China	nov./dez. 2000	10	3-20	135
Clermont-Ferrand, França	fev. 1999-dez. 2000	18 urbanas	32 (5-83)	164
Auvergne, França		21 rurais	20 (1-39)	164
Paris, França	2003	28**	10,7±1,4 (salas, inverno) 14,8±1,5 (salas, verão) 9,9±1,5 (quartos, inverno) 15,2±1,5 (quartos, verão)	165
Pequena cidade, França		1	22-25	166
Catânia, Itália	out. 2003/mai. 2004		15,7 (out.) 13 (mai.)	43
Atenas, Grécia	dez. 2003/out. 2005		18,3 (dez.) 20,2 (out.)	43
Tessalónica, Grécia	nov. 2004/mai. 2006		13,9 (nov.) 13,8 (mai.)	43
Arnhem/Nijmegen, Holanda	mar. 2004/ago. 2006		9 (mar.) 18,9 (ago.)	43
Beusichem, Holanda	fev./jun. 2010	1 rural***	13 (8-14) (período ocupação, fev.) 14,5 (14-15) (fim de semana, fev.) 24 (19-28) (período ocupação, jun.) 18 (fim de semana, jun.)	167
Leipzig, Alemanha	abr. 2005/jul. 2006		29,1 (abr.) 31,9 (jul.)	43
Nicósia, Chipre	jan. 2007		12	43
Budapeste, Hungria	mai. 2007/jan. 2008		17,9 (mai.) 12,5 (jan.)	43
Dublin, Irlanda	mai. 2007/fev. 2008		26,4 (mai.) 13,1 (fev.)	43
Helsínquia, Finlândia	ago. 2007/mar. 2008		22,6 (mai.) 8,8 (fev.)	43
Lisboa, Portugal	jun. 2009-fev. 2010	14	3,4–42,3 (primavera) 3,1–26,2 (outono) 6,3–23,8 (inverno)	40
Izmir, Turquia	outono, inverno, primavera	3 escolas (em cada, sala de aula+sala de jardim de infância)	19±4 a 55±32 (salas de aula) 67±25 a 109±18 (jardim de infância)	41
São Paulo, Brasil	Rodízio, 1997	1	19	149
Rio de Janeiro, Brasil	nov. 2005-ago. 2006	6	58,7-701	150

Notas: Células em branco na tabela indicam informação não fornecida na fonte bibliográfica citada; * jardins de infância; ** creches; *** com as unidades portáteis de tratamento de ar desligadas

Recentemente, foi avaliada a QAI de 71 salas de aula em 17 jardins de infância coreanos.¹⁶³ As concentrações no interior dos edifícios do ensino pré-escolar localizados em áreas urbanas ($44,6 \pm 40,9 \mu\text{g m}^{-3}$) foram mais elevadas do que as observadas no exterior ($26,4 \pm 36,1 \mu\text{g m}^{-3}$), embora a diferença não seja estatisticamente significativa. Em localidades rurais, as concentrações no interior de jardins de infância ($39,4 \pm 25,7 \mu\text{g m}^{-3}$) foram significativamente mais elevadas do que as medidas no exterior ($7,6 \pm 2,7 \mu\text{g m}^{-3}$), sugerindo a existência de inúmeras fontes internas. As relações entre as concentrações medidas no interior e no exterior (*indoor/outdoor, I/O*) foram maiores para escolas localizadas em localidades rurais ($I/O = 5,18$), em resultado de níveis de formaldeído na atmosfera exterior muito mais baixos comparativamente com as atmosferas urbanas.

Num estudo realizado em escolas de Hong Kong procurou-se caracterizar as concentrações no ar interior e sugerir formas para reduzir a exposição das crianças aos poluentes.¹⁶¹ Cinco salas de aula foram foco do estudo. Verificou-se que os níveis de CO_2 , usado como traçador para avaliar a qualidade da ventilação, e de partículas ultrapassavam os padrões aceitáveis, devido às salas serem superlotadas e às deficientes taxas de renovação do ar. As concentrações de formaldeído variaram de “indetectáveis” a $27 \mu\text{g m}^{-3}$ e todos os níveis medidos não ultrapassaram os valores especificados nas normas de qualidade do ar interior em Hong Kong (*Interim Indoor Air Quality Guidelines - HKIAQ*). Os baixos níveis medidos foram justificados com a presença nas salas de mobiliário constituído por materiais de baixa emissão de CH_2O . Também em Hong Kong, foi avaliada a QAI em 7 escolas do ensino primário e 3 jardins de infância.¹⁶² Comparativamente com os níveis detetados em restaurantes e centros comerciais, os estabelecimentos de ensino apresentavam concentrações muito mais baixas, nunca ultrapassando o critério de $30 \mu\text{g m}^{-3}$ especificado no regulamento em vigor na região.

Foi avaliada a qualidade do ar de 31 salas pertencentes a 10 escolas localizadas na área urbana de Taiyuan (China).¹³⁸ Para o formaldeído, foi observada pouca variação entre as concentrações no interior e no exterior. Em 5 salas de 4 escolas foram medidos valores inferiores ao limite de deteção ($< 1 \mu\text{g m}^{-3}$). Apesar dos níveis de formaldeído serem inferiores aos medidos em escolas de Shanghai,¹³⁵ ou de Hong Kong,¹⁶² os investigadores encontraram relações estatísticas significativas com várias sintomatologias respiratórias reportadas pela população escolar através de questionário.

Em Portugal, a evolução sazonal da qualidade do ar de 14 estabelecimentos de ensino básico de Lisboa foi avaliada usando amostradores passivos,⁴⁰ depois de otimizadas e validadas as metodologias de amostragem e de análise.¹⁶⁸ O formaldeído foi detetado em concentrações significativamente mais elevadas em comparação com outros compostos carbonílicos. Os níveis observados nas salas de aula situaram-se nos seguintes intervalos: $3,4\text{--}42,3 \mu\text{g m}^{-3}$ (primavera), $3,1\text{--}26,2 \mu\text{g m}^{-3}$ (outono) e $6,3\text{--}23,8 \mu\text{g m}^{-3}$ (inverno). Assim, as concentrações registradas na primavera parecem ser mais elevadas do que as medidas em estações mais frias. Uma relação similar entre concentrações de formaldeído e temperatura ambiental tinha sido previamente reportada para ambientes residenciais na China.³⁹ Os níveis de formaldeído medidos em divisões distintas de 185 residências de Perth, Austrália, não revelaram diferenças significativas.¹⁶⁹ Contudo, constatou-se que as concentrações variam significativamente com a estação do ano e com a idade dos edifícios. Os valores mais elevados foram obtidos no verão, nas habitações de construção mais recente. Os níveis de formaldeído detetados em escolas coreanas, a maior parte das quais é constituída por edifícios dos anos 1960 e 70, foram também relacionados com o ano de construção.¹⁷⁰ Verificou-se que as escolas com menos de 1 ano apresentavam o nível médio de formaldeído mais elevado ($200 \mu\text{g m}^{-3}$). As concentrações médias medidas

nas escolas com 1-3 anos, 3-5 anos e >10 anos foram, respetivamente, 150, 86 e $86 \mu\text{g m}^{-3}$. No estudo realizado em Lisboa, os valores mais baixos foram observados nas escolas mais velhas, enquanto os níveis mais elevados foram registrados em estabelecimentos de construção recente, pintados nos últimos meses ou localizados nas imediações de autoestradas.⁴⁰

Na cidade de Izmir, Turquia, foi efetuada uma avaliação da QAI em salas de jardim de infância e escolas do ensino primário.⁴¹ Entre os COV analisados, o formaldeído foi consistentemente detetado como o composto com concentrações mais elevadas, obtendo-se níveis próximos, nalgumas ocasiões, apenas para tolueno e benzeno. A concentração média global numa das escolas urbanas foi substancialmente superior ($47 \mu\text{g m}^{-3}$) à registrada no outro estabelecimento de ensino urbano ($32 \mu\text{g m}^{-3}$) e na escola suburbana ($31 \mu\text{g m}^{-3}$). As discrepâncias mais acentuadas entre as 3 escolas foram observadas no outono, com uma diferença de $36 \mu\text{g m}^{-3}$ entre a concentração média medida na escola urbana com maior número de fontes internas e a suburbana, enquanto o diferencial foi apenas de 14 e $8 \mu\text{g m}^{-3}$ nas campanhas de inverno e primavera, respetivamente. Os níveis médios de formaldeído medidos pelos mesmos autores nos jardins de infância (67 a $109 \mu\text{g m}^{-3}$) superaram os medidos nas salas das escolas de ensino básico. Dado não se terem observado diferenças sazonais e espaciais nas salas dos jardins de infância, concluiu-se haver fontes permanentes de formaldeído nos ambientes interiores. Relações $I/O > 10$ confirmaram a importância esmagadora das fontes internas.

Em 18 escolas urbanas de Clermont-Ferrant e 21 estabelecimentos de ensino rurais de Auvergne, França, foram obtidas relações I/O de $8,2 \pm 5,1$ e $17,9 \pm 24,2$, respetivamente.¹⁶⁴ O estudo mostrou que as concentrações em meio rural são significativamente mais baixas do que as observadas nas escolas citadinas. Também em França, foi avaliada a QAI nos dormitórios e salas de recreação de 28 estabelecimentos de cuidado diurno de bebês até 1 ano de idade, localizados em Paris.¹⁶⁵ Os níveis médios de formaldeído obtidos em ambos os microambientes foram mais elevados no verão (dormitório: $15,2 \pm 1,5 \mu\text{g m}^{-3}$; sala: $14,8 \pm 1,5 \mu\text{g m}^{-3}$) do que no inverno (dormitório: $9,9 \pm 1,5 \mu\text{g m}^{-3}$; sala: $10,7 \pm 1,4 \mu\text{g m}^{-3}$). Num estudo piloto destinado à avaliação da QAI em 3 áreas geográficas de França (Nord-Pas-de-Calais, Alsácia e Província dos Alpes Côte d’Azur), foram efetuadas medições em 9 escolas.¹⁷¹ O intervalo de concentrações do CH_2O foi de 13 a $67 \mu\text{g m}^{-3}$. Concentrações situadas nesta faixa de valores foram também obtidas numa escola com 80 alunos, localizada numa área residencial de uma pequena cidade francesa.¹⁶⁶

No âmbito do AIRMEX (*European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment*),^{43,45} entre 2003 e 2008, foram realizadas medições das concentrações de COV em ambientes interiores e exteriores de edifícios públicos, incluindo escolas, de várias cidades europeias. Em todas as escolas e jardins de infância monitorados, concentrações até 7-8 vezes superiores foram obtidas nas salas em comparação com as medidas no exterior. Os níveis médios de formaldeído presentes nos estabelecimentos de ensino variaram de aproximadamente 3 até $35 \mu\text{g m}^{-3}$. Tal como observado noutros estudos,^{39,40,165,169,172,173} constatou-se um efeito sazonal, com concentrações substancialmente mais elevadas na estação mais quente. Devido à ubiquidade do formaldeído em ambientes interiores e à evidência crescente de que as crianças são mais sensíveis à toxicidade respiratória do poluente do que os adultos, o estudo concluiu que os níveis de CH_2O são preocupantes quando excedem $1 \mu\text{g m}^{-3}$, valor que corresponde aproximadamente às concentrações de fundo em meio rural. Os resultados obtidos durante o projeto AIRMEX permitiram constatar que a população escolar está frequentemente exposta a concentrações superiores às de fundo e que uma parte significativa dessa população está exposta a níveis superiores ao NOAEL (*no observable adverse effect level*) de $30 \mu\text{g m}^{-3}$, descrito como valor para o qual não são

observáveis efeitos adversos na saúde. As concentrações encontradas são, contudo, inferiores (99^o percentil < 150 $\mu\text{g m}^{-3}$), a um presumível limite a partir do qual podem ocorrer danos citotóxicos da mucosa nasal. Numa pesquisa recente em que foi aplicado um modelo para estimar a exposição por inalação a vários poluentes, tendo por base as concentrações medidas no projeto AIRMEX e o tempo passado pela população em vários microambientes (interior no lar, interior no trabalho ou escola, exterior e nos transportes), concluiu-se que uma fração significativa dos habitantes das cidades europeias está exposta a níveis que ultrapassam o limite de 30 $\mu\text{g m}^{-3}$ (média de 30 min).¹⁷⁴ Este valor consta das recomendações de uma investigação anteriormente financiada pela União Europeia (projeto INDEX), cujos objetivos consistiam na avaliação dos riscos para a saúde decorrentes da exposição a poluentes gerados em ambientes interiores e na recomendação de concentrações limite para essa exposição.¹⁷⁵ A exposição por inalação é agravada pelo fato de, no quotidiano, a população passar mais de 90% do tempo em ambientes interiores, onde os níveis de poluentes nefastos, como o formaldeído, são substancialmente mais elevados.¹⁷⁴

Recentemente, foram avaliadas as repercussões na QAI da utilização de unidades portáteis de tratamento de ar (PATU) numa sala de aula ocupada por 34 crianças de 11-12 anos.¹⁶⁷ Apesar de se ter verificado que a utilização de PATU contribuía para reduções de 70-90% e 57-80%, respetivamente, nos níveis de partículas atmosféricas e COV, não se observou qualquer influência nas concentrações de outros parâmetros, nomeadamente do formaldeído. Verificou-se também que os níveis do poluente apresentavam elevada variabilidade entre dias (8-18 $\mu\text{g m}^{-3}$ em fevereiro, 19-28 $\mu\text{g m}^{-3}$ em junho), sendo muito superiores aos medidos no exterior (< 5 $\mu\text{g m}^{-3}$). As concentrações obtidas nos finais de semana não diferiam significativamente das obtidas durante os períodos de ocupação, sugerindo a presença de fontes emissoras permanentes.

Nos EUA, foram medidas as concentrações de formaldeído em 20 salas de 7 escolas em dois distritos de Los Angeles, 7 das quais se localizavam em edifícios principais e as restantes 13 em contêineres pré-fabricados.³⁷ Os valores observados nunca ultrapassaram o limite de 60 $\mu\text{g m}^{-3}$ estabelecido pelo *California Air Resources Board* (CARB). As concentrações no interior dos pré-fabricados superaram as encontradas nas salas de aulas dos edifícios permanentes, embora os valores medidos nas construções temporárias pareçam ter decrescido ao longo do tempo. Os materiais de acabamento e o mobiliário de material não laminado foram apontados como as principais fontes de formaldeído no ambiente interior, especialmente nas salas localizadas em contêineres pré-fabricados. Os valores obtidos para os períodos de ocupação excederam as médias semanais e de 24 h, sugerindo que as atividades escolares contribuem também para as emissões de formaldeído.

A qualidade do ar numa escola modelo, classificada como de baixa alergenicidade, foi comparada com a observada em 3 escolas correntes. No verão, os níveis de formaldeído foram mais baixos na escola modelo, possivelmente por esta possuir respiradouros de maiores dimensões e tetos com configuração para permitir a ventilação natural, mas não foram observadas diferenças significativas no inverno.¹⁶⁰

MEDIDAS MITIGADORAS

A deteção de níveis de formaldeído superiores aos recomendados em ambientes escolares exige a implementação de medidas mitigadoras. A forma mais efetiva de reduzir os níveis de CH_2O em ambientes interiores consiste na remoção, redução ou substituição de materiais (e.g. mobiliário, madeira prensada, etc.) ou produtos que constituem as principais fontes emissoras.

O mobiliário e materiais novos removíveis de madeira prensada (e.g. prateleiras e mesas) devem ser retirados das salas para um local bem ventilado, onde deverão permanecer durante, pelo menos, 2 a 3 semanas. Este processo não removerá completamente o formaldeído, mas permitirá acelerar a fase inicial de desgaseificação. Assim, o pico das emissões ocorrerá durante o período em que os materiais estarão ausentes das salas.

Deve evitar-se o uso de produtos de consumo nocivos, tais como produtos de limpeza, tintas e vernizes. Se a sua utilização for inevitável, é fundamental optar por produtos de “rótulo ecológico” e promover a ventilação das divisões onde estes são aplicados. É também necessário assegurar que a exaustão de equipamentos de combustão (e.g. fogões, fornos, aquecedores, etc.) seja conduzida diretamente ao exterior e que o local de descarga esteja a uma altura suficiente para promover a dispersão eficaz dos poluentes. Os equipamentos de combustão devem ser vistoriados anualmente por profissionais qualificados.

Para assegurar taxas de ventilação adequadas nas salas de aula, os caudais de renovação do ar devem ser verificados regularmente. Quando disponíveis, os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC - *heating, ventilation and air conditioning*) devem ser periodicamente inspecionados. Na Europa, as taxas de ventilação exigidas variam de 300 a 500 litros por minuto e por ocupante, dependendo do país.¹⁷⁶ Nos EUA, o valor recomendado é de 426 litros por minuto e por ocupante.¹⁷⁷ Os veículos devem ser estacionados a uma distância razoável, para que a exaustão dos motores de combustão não atinja as entradas de ar destes sistemas. Para que os sistemas HVAC sejam efetivos, devem permanecer permanentemente ligados. É necessário garantir que a ventoinha destes sistemas opere continuamente quer as salas estejam ocupadas, quer não. Se o ruído causar incômodo, poderá promover-se o isolamento acústico do equipamento usando borracha. O fabricante deverá ser contactado para a implementação adequada desta medida.

Se os estabelecimentos de ensino não dispuserem de sistemas de ventilação mecânicos, deve ser promovido o arejamento natural através da abertura regular e prolongada das portas e janelas. A ventilação pode ainda ser aumentada com a instalação de ventoinhas nas salas ou nas próprias janelas que deverão ser acionadas em simultâneo com a abertura de portas e vidraças. Materiais felpudos ou lanosos (e.g. tapeçarias e cortinas) e as superfícies das paredes absorvem o formaldeído presente no ar, reemitindo-o se as condições ambientais se alterarem. A circulação do ar e ventilação adicional ajudarão a acelerar a remoção do poluente destas superfícies e das salas.

As salas devem ser mantidas a uma temperatura confortável e com umidades relativas de 30 a 50%. Em geral, as emissões de formaldeído aumentam à medida que os valores destes parâmetros também aumentam.

A avaliação da qualidade do ar é fundamental quer para se delinearem estratégias de atuação mais eficazes, quer para verificar se as medidas mitigadoras postas em prática surtiram efeito. O trabalho de avaliação deve ser realizado por técnicos especializados pertencentes a organismos estatais com competência na área ou a empresas privadas certificadas. O monitoramento do formaldeído deve ser executado recorrendo a métodos de referência como, por exemplo, a amostragem ativa com tubos ou cartuchos de DNPH. As medições deverão ser efetuadas durante o período de atividade escolar com os sistemas de ventilação a operarem normalmente. Isto permitirá obter uma estimativa razoável das concentrações observadas durante os períodos de exposição. O ideal será obter amostras durante 6 a 8 h, de forma a cobrir todo o período de ocupação.

Se após adoção de medidas mitigadoras os níveis de formaldeído se mantiverem acima do desejável, é necessário implementar ações adicionais. O recobrimento das superfícies emissoras, tais

como os materiais e móveis contraplacados, com múltiplas camadas de selantes à prova de água pode ajudar a reduzir os níveis do poluente. O poliuretano, o laminado vinílico e as tintas alquídicas constituem exemplos de possíveis selantes. É aconselhável aplicar várias camadas de produto, incluindo as costas, cantos e orlas das superfícies a impermeabilizar. A eficácia e espessura das camadas aplicadas variam com o produto usado. É necessário ter em conta que os selantes podem, também eles, libertar outros compostos químicos durante um período considerável. A sua aplicação deve ser sempre realizada com elevadas taxas de ventilação e, de preferência, num local alternativo.

Nas novas salas de aula, onde é comum detetar elevados níveis de formaldeído, mesmo após adoção das medidas anteriormente referidas, as escolas deverão considerar a possibilidade de arejar extensivamente o edifício e selar as superfícies durante o verão. Nos programas de construção de novas escolas, renovação, reequipamento e aquisição de mobiliário, devem ser incluídas condições nos cadernos de encargos impondo a seleção de materiais de baixa emissividade. É de reiterar a importância do arejamento do mobiliário, tapeçarias, alcatifas, etc., num local alternativo fortemente ventilado, antes da sua instalação nas salas.

Apesar de não ser uma medida unidirecionada para a escola, a seleção criteriosa do vestuário e dos cosméticos poderá também contribuir para a redução dos níveis de formaldeído nos estabelecimentos de ensino e obviar possíveis efeitos adversos decorrentes da exposição. Devem ser usadas roupas feitas com algodão, nylon, acrílico e poliéster, pois estes tecidos contêm menos formaldeído e são geralmente bem tolerados por indivíduos sensíveis. As peças de vestuário novas devem ser lavadas antes de serem usadas pela primeira vez. É muito importante ler os rótulos dos produtos cosméticos antes de utilizá-los, para ver se possuem formol em suas composições.

CONCLUSÕES

Do ponto de vista das preocupações de saúde, os níveis de contaminação do ar interior assumem atualmente uma elevada importância quando se tem em consideração que as pessoas passam a maior parte do seu tempo dentro de edifícios. As crianças são consideradas um dos grupos mais sensíveis, dado que possuem um sistema imunológico mais ativo e respiram mais ar por quilograma de peso corporal do que os adultos. O ambiente interior onde a população infantil passa mais tempo é a escola, a par com a habitação. A análise da exposição infantil à poluição do ar em ambientes escolares requer a identificação das principais fontes emissoras e a medição dos níveis. Neste contexto, o formaldeído é um dos poluentes mais preocupantes e, inclusivamente, os resultados de concentração obtidos em escolas de vários continentes foram considerados motivo de apreensão, devido ao fato de estarem relacionados com efeitos negativos na saúde. Quer a contribuição da poluição exterior, quer as inúmeras fontes emissoras no interior associadas aos materiais de construção, mobiliário e variadíssimos produtos de consumo, em conjugação com ventilações muito deficitárias, contribuem para a deteção de níveis em salas de aulas muito superiores aos considerados seguros, tendo sido estabelecidas relações causais com a prevalência de problemas respiratórios e oculares e com as alergias.

A QAI em ambientes escolares é ainda uma área de pesquisa emergente em vários países, existindo inúmeros aspetos a serem explorados. A implementação e consolidação de uma estrutura legislativa alicerçada em estudos sistemáticos e com o consenso de opiniões de autoridades científicas com interdisciplinaridade são indispensáveis. A imposição de auditorias periódicas de QAI pode constituir os alicerces de programas de medicina preventiva. A participação e atuação de profissionais especializados em

engenharia de ar condicionado, arquitetura e urbanismo, saúde pública, epidemiologia, toxicologia, catálise e fotoquímica da atmosfera são essenciais para a construção de edifícios saudáveis. De fato, a QAI é abrangente e, acima de tudo, passa por uma forte interligação entre projetistas, instaladores e equipes de manutenção, sem esquecer fabricantes e usuários. A utilização de materiais de baixa emissividade e a implementação de rotulagem ecológica com logotipos ilustrativos e indicações claras que ajudem os consumidores a selecionar produtos com níveis de emissões reduzidos poderão contribuir significativamente para atenuar a exposição a poluentes tóxicos, como o formaldeído. É necessário incentivar e promover a adoção de boas práticas conducentes a comportamentos ativos (individuais e coletivos) e atitudes saudáveis por parte da comunidade. Espera-se que, num futuro próximo, juntamente com os programas de avaliação periódica da QAI, sejam também implementados estudos de avaliação epidemiológica. Em particular, o fato dos efeitos para a saúde decorrentes da exposição a formaldeído parecerem estar mais relacionados com os níveis do agente químico do que com a duração da exposição reforça a importância do estudo das concentrações de pico, tratando-se de informação indispensável para a caracterização do risco. Entre as várias lacunas a preencher no conhecimento científico sobre os mecanismos de atuação e toxicologia dos poluentes, destacam-se os aspetos relacionados com o efeito sinérgico desses poluentes na saúde humana.

REFERÊNCIAS

- Bell, M. L.; Davis, D. L.; *Environ. Health Persp.* **2001**, *109* (suppl. 3), 389.
- <http://www.epa.gov/aboutepa/history/index.html>, acessada em Novembro 2011.
- Schirmer, W. N.; Pian, L. B.; Szymanski, M. S. E.; Gauer, M. A.; *Ciênc. Saúde Coletiva* **2011**, *16*, 3583.
- Cartieaux, E.; Rzepka, M. A.; Cuny, D.; *Arch. Pediatr.* **2011**, *18*, 789.
- Rodrigues, S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade do Porto, Portugal, 2008.
- Yu, B. F.; Hu, Z. B.; Liu, M.; Yang, H. L.; Kong, Q. X.; Liu, Y. H.; *Int. J. Refrig.* **2009**, *32*, 3.
- Heimlich, J. E.; *The Invisible Environment Fact Sheet Series*, The Ohio State University: Columbus, 2008.
- Sarigiannis, A.; Karakitsios, S. P.; Gotti, A.; Liakos, I. L.; Katsoyiannis, A.; *Environ. Int.* **2011**, *37*, 743.
- Syazwan, A. I.; Juliana, J.; Norhafizalina, O.; Azman, Z. A.; Kamaruzaman, J.; *Glob. J. Health Sci.* **2009**, *1*, 126.
- Zhang, J.; Smith, K. R.; *Br. Med. Bull.* **2003**, *68*, 209.
- Fisk, W. J.; *Annu. Rev. Energ. Env.* **2000**, *25*, 537.
- Bakó-Biró, Z.; Wargocki, P.; Weschler, C. J.; Fanger, P. O.; *Indoor Air* **2004**, *14*, 178.
- Wargocki, P.; Wyon, D.; Sundell, J.; Clausen, G.; Fanger, P. O.; *Int. J. Indoor Air Qual. Clim.* **2000**, *10*, 222.
- Fang, L.; Wyon, D. P.; Clausen, G.; Fanger, P. O.; *Indoor Air* **2004**, *14* (suppl. 7), 74.
- Bernardes, A. C. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Aveiro, Portugal, 2009.
- Santamouris, M.; Alvarez, S.; Dascalaki, E.; Guarracino, G.; Maldonado, E.; Sciuto, S.; Vandaele, L.; *Natural ventilation in buildings – A design handbook*, Altener Programme of the European Commission, Directorate General XVII, for Energy, James and James, 1998.
- Sundell, J.; *Indoor Air* **2004**, *14* (suppl. 7), 51.
- Barbosa, A. V.; Pereira, A. L.; Guerra, W.; *Especialização em Engenharia de Segurança e do Trabalho*, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2007.
- Brickus, L. S. R.; Aquino Neto, F. R.; *Quim. Nova* **1999**, *22*, 65.

20. Passarelli, M. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Aveiro, Portugal, 2010.
21. Matos, J.; Brantes, J.; Cunha, A. M. A.; *Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico*, Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, Portugal, 2010.
22. Fraga, S.; Ramos, E.; Martins, A.; Samúdio, M. J.; Silva, G.; Guedes, J.; Fernandes, E. O.; Barros, H.; *Rev. Port. Pneumol.* XIV, **2008**, 487.
23. Daisey, J. M.; Angell, W. J.; Apte, M. G.; *Indoor Air* **2003**, 13, 53.
24. Gilliland, F. D.; Berhane, K.; Rappaport, E. B.; Thomas, D. C.; Avol, E.; Gauderman, W. J.; London, S. J.; Margolis, H. G.; McConnell, R.; Islam, K. T.; Peters, J. M.; *Epidemiology* **2001**, 12, 43.
25. Dautel, P.; Whitehead, L.; Tortolero, S.; Abramson, S.; Sockrider, M.; *J. Asthma* **1999**, 36, 691.
26. Norback, D.; Walinder, R.; Wieslander, G.; Smedje, G.; Erwall, C.; Venge, P.; *Allergy* **2000**, 55, 163.
27. Santilli, J.; *Curr. Allergy. Asthma R.* **2002**, 2, 460.
28. Savilahti, R.; Uitti, J.; Roto, P.; Laippala, P.; Husman, T.; *Allergy* **2001**, 56, 175.
29. Heath, G. A.; Mendell, M. J.; *Proceedings of the Indoor Air 2002 Conference*, Monterey, USA, 2002.
30. Mendell, M.; Heath, G.; *Indoor Air* **2005**, 15, 27.
31. Mohai, P.; Byoung-Suk, K.; Sangyun, L.; Ard, K.; *Health Affair* **2011**, 30, 852.
32. Shaughnessy, R. J.; Haverinen-Shaughnessy, U.; Nevalainen, A.; Moschandreas, D.; *Indoor Air* **2006**, 16, 465.
33. Wargocki, P.; Wyon, D. P.; Jark, L.; Hansen, M. S.; *HVAC&R Res.* **2007**, 13, 7.
34. Soughnessy, R. J.; Soughnessy, U. H.; Nevalainen, A.; Moschandreas, D.; *Indoor Air* **2006**, 16, 465.
35. Branham, D.; *Soc. Sci. Quart.* **2004**, 85, 1112.
36. Shendell, D. G.; Prill, R.; Fisk, W.; Apte, M.; Blake, D.; Faulkner, D.; *Indoor Air* **2004**, 14, 333.
37. Shendell, D. G.; Winer, A. M.; Stock, T. H.; Zhang, L.; Zhang, J.; Maberli, S.; Colome, S. D.; *J. Expo. Anal. Env. Epid.* **2004**, 14, 44.
38. Chen, L.; Jennison, B. L.; Yang, W.; Omaye, S. T.; *Inhal. Toxicol.* **2000**, 12, 997.
39. Wang, B.; Lee, S. C.; Ho, K. F.; *Atmos. Environ.* **2007**, 41, 2851.
40. Pegas, P.; Alves, C. A.; Evtuygina, M.; Nunes, T.; Cerqueira, M.; Franchi, M.; Pio, C.; Almeida, S. M.; Cabo Verde, S.; Freitas, M. C.; *J. Environ. Monitor.* **2011**, 13, 657.
41. Sofuoglu, C.; Aslan, G.; Inal, F.; Sofuoglu, A.; *Int. J. Hyg. Envir. Heal.* **2011**, 214, 36.
42. Adgate, J. L.; Church, T. R.; Ramachandran, G.; Fredrickson, A. L.; Stock, T. H.; Morandi, M. T.; Sexton, K.; *Environ. Health Persp.* **2004**, 112, 386.
43. Kotzias, D.; Geiss, O.; Tirendi, S.; Barrero-Moreno, J.; Reina, V.; Gotti, A.; *Fresen. Environ. Bull.* **2009**, 18, 670.
44. Blondeau, P.; Iordache, V.; Poupard, O.; Genin, D.; Allard, F.; *Indoor Air* **2005**, 15, 2.
45. Geiss, O.; Giannopoulos, G.; Tirendi, S.; Barrero-Moreno, J.; Larsen, B. R.; Kotzias, D.; *Atmos. Environ.* **2011**, 45, 3676.
46. Zabiegata, B.; Partyka, M.; Gawronska, A.; Wasilewska, A.; Namiesnik, J.; *Int. J. Environ. Health* **2007**, 1, 13.
47. Tucker, W. Em *Indoor Air Quality Handbook*; Spengler, J. D.; Samet, J. M.; McCarthy, J. F., eds.; McGraw-Hill: New York, 2004, chap. 31.
48. Rogers, S. A.; *Environ. Health Persp.* **1987**, 76, 195.
49. Kim, W. J.; Terada, N.; Nomura, T.; Takahashi, R.; Lee, S. D.; Park, J. H.; Konno, A.; *Clin. Exp. Allergy* **2002**, 32, 287.
50. Takeda, M.; Saijo, Y.; Yuasa, M.; Kanazawa, A.; Araki, A.; Kishi, R.; *Int. Arch. Occ. Env. Health* **2009**, 82, 583.
51. Franklin, P. J.; *Paediatr. Respir. Rev.* **2007**, 8, 281.
52. Scheff, P. A.; Paulius, V. K.; Huang, S. W.; Conroy, L. M.; *Appl. Occup. Environ. Hyg.* **2000**, 15, 824.
53. Tillet, T.; *Environ. Health Persp.* **2010**, 118, A131.
54. McGwin, G.; Lienert, J.; Kennedy, J. I.; *Environ. Health Persp.* **2010**, 118, 313.
55. Carmo, A. T.; Prado, R. T. A.; *Qualidade do Ar Interno - Texto Técnico da Escola Politécnica da USP*, TT/PCC/23, São Paulo, 1999.
56. Kaden, D. A.; Mandin, C.; Nielsen, G. D.; Wolkoff, P. Em *WHO Guidelines for Indoor Air quality: selected pollutants*; Regional Office for Europe of the World Health Organization: Copenhagen, 2010, chap. 3.
57. Andrade, M. V. A. S.; Pinheiro, A. L. C.; Pereira, P. A. P.; Andrade, J. B.; *Quim. Nova* **2002**, 25, 1117.
58. Naya, M.; Nakanishi, J.; *Regul. Toxicol. Pharm.* **2005**, 43, 232.
59. IARC - International Agency for Research on Cancer; *Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol*, IARC: Lyon, 2006.
60. ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry; *Toxicological profile for formaldehyde*, ATSDR: Atlanta, 1999.
61. Viegas, S. P. C.; *Tese de Doutorado*, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2010.
62. Goyer, N.; Bégin, D.; Beaudry, C.; *Prevention guide: Formaldehyde in the workplace*, Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail: Montreal, 2006.
63. Koziel, J. A.; Noah, J.; Pawliszyn, J.; *Environ. Sci. Technol.* **2001**, 35, 1481.
64. Odabasi, M.; Seyfioglu, R.; *Atmos. Environ.* **2005**, 39, 5149.
65. Chen, J.; So, S.; Hoason, L.; *Appl. Spectrosc.* **2004**, 58, 243.
66. WHO - World Health Organization; *Formaldehyde: adverse effects (International Programme on Chemical Safety II)*, WHO: Geneva, 2002.
67. Corrêa, S. M.; Arbilla, G.; Martins, E. M.; Quitério, S. L.; Guimarães, C. S.; Gatti, L. V.; *Atmos. Environ.* **2010**, 44, 2302.
68. ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry; *Formaldehyde sampling of FEMA temporary housing trailers*, ATSDR: Atlanta, 2007.
69. Zhang, L.; Steinmaus, C.; Eastmond, D. A.; Xin, X. K.; Smith, M. T.; *Mutat. Res.* **2009**, 681, 150.
70. IARC - International Agency for Research on Cancer; *Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol Summary of Data Reported and Evaluation*, IARC: Lyon, 2006, vol. 88.
71. Kelly, T. J.; Smith, D. L.; Satola, J.; *Environ. Sci. Technol.* **1999**, 33, 81.
72. von Schulte, H.; Bernauer, U.; Madle, S.; *Assessment of the carcinogenicity of formaldehyde*, Bundesinstitut für Risikobewertung: Berlin, 2006.
73. Funasa - Fundação Nacional de Saúde; *Guia de Vigilância Epidemiológica*, 5ª ed., Funasa: Brasília, 2002, vol. I.
74. Offit, P. A.; Jew, R. K.; *Pediatrics* **2003**, 112, 1394.
75. Vicente, R.; Jeandel, B.; *Hyg. Sécur. Travail* **2006**, 203, 19.
76. Perrault, G.; Goyer, N.; Hébert, F.; *Étude préliminaire sur l'évaluation de l'impact d'un abaissement des valeurs d'exposition admissibles pour le formaldéhyde*, Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail: Montreal, 2000.
77. González-Ferradás, E.; *Formaldehido: toxicología e impacto ambiental*, Fundación MAPFRE: Madrid, 1986.
78. NICNAS - National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme; *Formaldehyde*, NICNAS: Sydney, 2006.
79. Goyer, N.; Beaudry, C.; Bégin, D.; *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde: industries de fabrication de formaldéhyde et de résines à base de formaldéhyde*, Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail: Montreal, 2004.
80. Gosselin, N. H.; Brunet, R. C.; Carrier, G.; *Appl. Occup. Environ. Hyg.* **2003**, 18, 384.
81. Goyer, N.; Beaudry, C.; Bégin, D.; *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde: industries de la fabrication de panneaux agglomérés*, Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail: Montreal, 2004.

82. Vaughan, T. L.; Stewart, P. A.; Teschke, K.; *Occup. Environ. Med.* **2000**, *57*, 376.
83. Goyer, N.; Bégin, D.; Bouchard, M.; *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde: industrie de finition textile*, Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail: Montreal, 2004.
84. Gilbert, N.; *Proposed residential indoor air quality guidelines for formaldehyde*, Health Canada: Canada, 2005.
85. Vaught, C.; *Locating and estimating air emissions from sources of formaldehyde (revised)*, U.S. Environmental Protection Agency: Washington DC, 1991.
86. Nazaroff, W. W.; *Indoor air chemistry: cleaning agents, ozone and toxic air contaminants*, Air Resources Board, California Environmental Protection Agency: Berkeley, 2006.
87. Maison, A.; Pasquier, E.; *Le point des connaissances sur le formaldéhyde*, 3^e éd., Institut National de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Accidents du Travail et des Maladies Professionnelles: Paris, 2008.
88. McCarthy, M. C.; Hafner, H. R.; Montzka, S. A.; *JAPCA J. Air Waste Ma.* **2006**, *56*, 3.
89. Tago, H.; Kimura, H.; Kozawa, K.; Fujie, K.; *Water, Air, Soil Pollut.* **2005**, *163*, 269.
90. Macintosh, D. L.; Zimmer-Dauphinee, S. A.; Manning, R. O.; Williams, P. L.; *Environ. Monit. Ass.* **2000**, *63*, 409.
91. Solberg, S.; Dye, C.; Walker, S.; Simpson, D.; *Atmos. Environ.* **2001**, *35*, 195.
92. Bakeas, E. B.; Argyris, D. I.; Siskos, P. A.; *Chemosphere* **2003**, *52*, 805.
93. ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry; *Formaldehyde*, ATSDR: Atlant, 2008
94. Kosa, K. H.; *Indoor air quality: sampling methodologies*, CRC Press LLC: Boca Raton, 2002.
95. <http://environmentalsensors.com/formaldehyde-monitor-z-300.html>, acessada em Janeiro 2012.
96. <http://www.haltechnologies.com/Docs/HAL-HFX205%20Handheld%20Formaldehydemeter.pdf>, acessada em Janeiro 2012.
97. <http://www.ppm-technology.com/formaldemeter%20htv.htm>, acessada em Janeiro 2012.
98. <http://www.environmental-expert.com/products/model-4160-2-hcho-interscan-portable-gas-analyzer-155267/view-comments>, acessada em Janeiro 2012.
99. <http://scicompare.com/specifics.cfm?product=4929>, acessada em Janeiro 2012.
100. <http://argus-hazco.com/gas-section/single-gas-monitors/fp40-formaldehyde-monitor.htm>, acessada em Janeiro 2012.
101. <http://www.wolfsense.com/formaldehyde-monitor.html>, acessada em Janeiro 2012.
102. <http://www.shinyei.co.jp/stc/eng/iaq/formaldehyde.html>, acessada em Janeiro 2012.
103. Winberry Jr., W. T.; Murphy, N. T.; Phinney, B.; Forehand, B.; Ceroli, A.; Evans, A.; *Methods for determination of indoor air pollutants – EPA Methods*, Noys Data Corporation: Cary, 1993.
104. EPA - Environmental Protection Agency; *Determination of formaldehyde and other aldehydes in indoor air: Method IP-6A-Active Sampling Using a Solid Adsorbent Trap and Method IP-6C-Passive (Diffusive) Sampler*, EPA: Research Triangle Park, 2004.
105. ISO - International Organization for Standardization; *Indoor air - Part 4: Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method (ISO 16000-4:2011)*, ISO: Geneva, 2011.
106. Maroni, M.; Seifert, B.; Lindvall, T.; *Indoor Air Quality: A comprehensive Reference Book*, Elsevier: Amsterdam, 1995, vol. 3.
107. Heck, H.; Casanova, M.; *Regul. Toxicol. Pharm.* **2004**, *40*, 92.
108. Hedberg, J.; *Tese de Doutorado*, Karolinska Institutet, Suécia, 2001.
109. Wang, R. S.; Nakajima, T.; Kawamoto, T.; *Drug Metab. Dispos.* **2002**, *30*, 69.
110. Uotila, L.; Koivusalo, M.; *Adv. Exp. Med. Biol.* **1997**, *414*, 365.
111. Wilson, S. M.; Gleinsten, M. P.; Donohue, T.; *J. Microbiol.* **2008**, *154*, 296.
112. Gibson, G.; Skett, P.; *Introduction to drug metabolism*, 3rd ed., Nelson Thornes Publishers: London, 2001.
113. Wu, P. C.; Li, Y. Y.; Lee, C. C.; *Indoor Air* **2003**, *13*, 359.
114. Bonnard, N.; Falcy, M.; Pasquier, E.; *Fiche toxicologique FT 7: aldéhyde formique et solutions aqueuses*, Institut National de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Accidents du Travail et des Maladies Professionnelles: Paris, 2008.
115. <http://www.cdph.ca.gov/programs/hesis/Documents/formaldehyde.pdf>, acessada em Novembro 2011.
116. Salthammer, T.; Mentese, S.; Marutzky, R.; *Chem. Rev.* **2010**, *110*, 2536.
117. Broder, I.; Corey, P.; Cole, P.; Lipa, M.; Nethercott, J. R.; *Environ. Res.* **1988**, *45*, 141.
118. Bardana, E. J.; Montanaro, A.; *Ann. Allergy* **1991**, *66*, 441.
119. Krzyzanowski, M.; Quackenboss, J. J.; Lebowitz, M. D.; *Environ. Res.* **1990**, *52*, 117.
120. Rumchev, K. B.; Spickett, J. T.; Bulsara, M. K.; Phillips, M. R.; Stick, S. M.; *Eur. Respir. J.* **2002**, *20*, 403.
121. Garrett, M. H.; Hooper, M. A.; Hooper, B. M.; Rayment, P. R.; Abramson, M.; *J. Allergy* **1999**, *54*, 330.
122. Venn, A. J.; Cooper, M.; Antoniak, M.; Laughlin, C.; Britton, J.; Lewis, S.; *Thorax* **2003**, *58*, 955.
123. Smedje, G.; Norbäck, D.; Edling, C.; *Clin. Exp. Allergy* **1997**, *27*, 1270.
124. Erdei, E.; Bobvos, J.; Brózik, M.; Páldy, A.; Vaskövi, E.; Rudnai, P.; *Arch. Environ. Health* **2003**, *58*, 337.
125. Wantke, F.; Demmer, C. M.; Tappler, P.; Gotz, M.; Jarish, R.; *Clin. Exp. Allergy* **1996**, *26*, 276.
126. Franklin, P.; Dingle, P.; Stick, S.; *Am. J. Resp. Crit. Care* **2000**, *161*, 1757.
127. Kramps, J. A.; Peltenburg, L. T.; Kerklaan, P. R.; Spieksma, F. T. M.; Valentijn, R. M.; Dijkman, J. H.; *Clin. Exp. Allergy* **1989**, *19*, 509.
128. Krakowiak, A.; Gorski, P.; Pazdrak, K.; Ruta, U.; *Am. J. Ind. Med.* **1998**, *33*, 274.
129. Doi, S.; Susuki, S.; Morishita, M.; Yamada, M.; Kanda, Y.; Torii, S.; Sakamoto, T.; *Allergy* **2003**, *58*, 668.
130. Elias, J. A.; Lee, C. G.; Zheng, T.; Ma, B.; Homer, R. J.; Zhu, Z.; *J. Clin. Invest.* **2003**, *111*, 291.
131. Thompson, C. M.; Subramaniam, R. P.; Grafstrom, R. C.; *Toxicol. Appl. Pharm.* **2008**, *233*, 355.
132. Pati, S.; Parida, S. N.; *Epidemiology* **2005**, *16*, S132.
133. Symington, P.; Coggon, D.; Holgate, S.; *Braz. J. Ind. Med.* **1991**, *48*, 588.
134. Delfino, R. J.; Gong, H. Jr; Linn, W. S.; Pellizzari, E. D.; Hu, Y.; *Environ. Health Persp.* **2003**, *111*, 647.
135. Mi, Y. H.; Norbäck, D.; Tao, J.; Mi, Y. L.; Ferm, M.; *Indoor Air* **2006**, *16*, 454.
136. Mendell, M. J.; *Indoor Air* **2007**, *17*, 259.
137. Smedje, G.; Norback, D.; *Int. J. Tuberc. Lung D* **2001**, *5*, 1059.
138. Zhao, Z.; Zhang, Z.; Wang, Z.; Ferm, M.; Liang, Y.; Norbäck, D.; *Environ. Health Persp.* **2008**, *116*, 90.
139. Olsen, J. H.; Dossing, M.; *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **1982**, *43*, 366.
140. Turk, B. H.; Brown, J. T.; Geisling-Sobotka, K.; Froelich, D. A.; Grimsrud, D. T.; Harrison, J.; Koonce, J. F.; Prill, J. R.; Revzan, K. L.; *Indoor air and ventilation measurements in 38 Pacific Northwest Commercial Buildings*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Report No. LBNL-22315, 1987.
141. Sheldon, L. S.; Handy, R. W.; Hartwell, T. D.; Whitmore, R. W.; Zelon, H. S.; *Indoor Air Quality in Public Buildings*, USEPA – Environmental Monitoring Systems Laboratory, NTIS/PB89-102503: Washington D.C., 1989, vol. 1.

142. Sheldon, L. S.; Zelon, H. S.; Sickles, J.; Eaton, C.; Hartwell, T.; *Indoor Air Quality in Public Buildings*, USEPA – Environmental Monitoring Systems Laboratory, NTIS/PB89-102511: Washington D.C., 1989, vol. 2.
143. Black, M. S.; Worthan, A.; *Proceedings of the ASHRAE IAQ'95 Conference*, Denver, USA, 1995.
144. Cavallo, D.; Alcini, D.; de Bortoli, M.; Carrettoni, D.; Carrer, P.; Bersani, M.; Maroni, M.; *Proceedings of Indoor Air'93: The 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Helsinki, Finland, 1993.
145. Laurent, A. M.; Person, A.; Petit-Coviaux, F.; Le Moullec, Y.; Festy, B.; *Proceedings of Indoor Air'93: The 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Helsinki, Finland, 1993.
146. Smedje, G.; Norbäck, D.; *Proceedings of the 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Edinburgh, Scotland, 1999.
147. Nikolic, M.; *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland, 2000.
148. Gioda, A.; Aquino Neto, F. R.; *Quim. Nova* **2003**, 26, 359.
149. Pires, M.; Carvalho, L. R. F.; *Quim. Nova* **1999**, 22, 487.
150. Sodré, E. D.; Corrêa, S. M.; Arbilla, G.; Marques, M.; *Quim. Nova* **2008**, 31, 249.
151. Godoi, R. H. M.; Avigo Jr., D.; Campos, V. P.; Tavares, T. M.; de Marchi, M. R. R.; van Grieken, R.; Godoi, A. F. L.; *Water, Air, Soil. Poll. Focus* **2009**, 9, 171.
152. Cavalcante, R. M.; Campelo, C. S.; Barbosa, M. J.; Silveira, E. R.; Carvalho, T. V.; Nascimento, R. F.; *Atmos. Environ.* **2006**, 40, 5701.
153. Grosjean, D.; Grosjean, E.; Moreira, L. F. R.; *Environ. Sci. Technol.* **2002**, 36, 1389.
154. Feng, Y.; Wen, S.; Wang, X.; Sheng, G.; He, Q.; Tang, J.; Fu, J.; *Atmos. Environ.* **2004**, 38, 103.
155. Baéz, A.; Padilla, H.; Garcya, R.; Torres, M.; Rosas, I.; Belmont, R. C.; *Sci. Total Environ.* **2003**, 302, 211.
156. de Andrade, J. B.; Andrade, M. V.; Pinheiro, H. L. C.; *J. Braz. Chem. Soc.* **1998**, 9, 219.
157. Viskari, E.; Vartiainen, M.; Pasanen, P.; *Atmos. Environ.* **2000**, 34, 917.
158. Corrêa, S. M.; Arbilla, G.; *Atmos. Environ.* **2005**, 39, 4513.
159. Yang, W.; Sohn, J.; Kim, J.; Son, B.; Park, J.; *J. Environ. Manage.* **2009**, 90, 348.
160. Zhang, G.; Spickett, J.; Rumchev, K.; Lee, A. H.; Stick, S.; *Indoor Air* **2006**, 16, 74.
161. Lee, S. C.; Chang, M.; *Chemosphere* **2000**, 41, 109.
162. Lee, S. C.; Guo, H.; Li, W. M.; Chan, L. Y.; *Atmos. Environ.* **2002**, 36, 1929.
163. Yoon, C.; Lee, K.; Parl, D.; *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2011**, 18, 333.
164. Hulin, M.; Annesi-Maesano, I.; Caillaud, D.; *Rev. Fr. Allergol.* **2011**, 51, 419.
165. Roda, C.; Barral, S.; Ravelomanantsoa, H.; Dusséaux, M.; Tribout, M.; LeMoullec, Y.; Momas, I.; *Environ. Res.* **2011**, 111, 1010.
166. Meininghaus, R.; Kouniali, A.; Mandin, C.; Cicolella, A.; *Environ. Int.* **2003**, 28, 553.
167. Scheepers, P. T. J.; Cremers, R.; van Hout, S. P. R.; Anzion, R. B. M.; *J. Environ. Monitor.* **2012**, 14, 429.
168. Pegas, P. N.; Evtugina, M. G.; Alves, C. A.; Nunes, T.; Cerqueira, M.; Franchi, M.; Pio, C.; Almeida, S. M.; Freitas, M. C.; *Quim. Nova* **2010**, 33, 1145.
169. Dingle, P.; Franklin, P.; *Indoor Built Environ.* **2002**, 11, 111.
170. Sohn, J.; Yang, W.; Kim, J.; Son, B.; Park, J.; *J. Environ. Manage.* **2007**, 90, 348.
171. Kirchner, S.; Pasquier, N.; Cretier, D.; Gauvin, S.; Golliot, F.; Pietrowski, D.; Cochet, C.; *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Monterey, USA, 2002.
172. Kalinic, N.; Sega, K.; *Environ. Manage. Health* **1996**, 7, 21.
173. Raw, G. J.; Coward, S.; Brown, V.; Crump, D. R.; *J. Expo. Anal. Env. Epid.* **2004**, 14, S85.
174. Bruin, Y. B.; Koistinen, K.; Kephelopoulos, S.; Geiss, O.; Tirendi, S.; Kotzias, D.; *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2008**, 15, 417.
175. Kostinen, K.; Kotzias, D.; Kephelopoulos, S.; Schlitt, C.; Carrer, P.; Jantunen, M.; Kerchner, S.; McLaughlin, J.; Mølhav, L.; Fernandes, E. O.; Seifert, B.; *Allergy* **2008**, 63, 810.
176. Jones, B.; *The Ventilation of School Classrooms in Practice and in Context*, University College London: London, 2011.
177. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004, Ventilation for Acceptable Indoor Air*, ASHRAE: Atlanta, 2004.