

## A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes

Air pollution in internal environments and sick building syndrome

Waldir Nagel Schirmer<sup>1</sup>  
Lucas Bischof Pian<sup>1</sup>  
Mariani Silvia Ester Szymanski<sup>1</sup>  
Mayara Ananda Gauer<sup>1</sup>

**Abstract** *Indoor Air Quality (IAQ) emerged as a science from the 1970s onwards with the energy crisis and the subsequent construction of sealed buildings (without natural ventilation). This mainly occurred in developed countries and it soon came to public attention that lower levels of air exchange in these environments was the main culprit for the increase in concentration of indoor air pollutants. It is common knowledge that ventilation is one of the principal factors that interfere with air quality in indoor environments and that the occupants contribute to the pollution of these environments with their activities. Furthermore, poor indoor air quality is associated with some diseases (cough, rhinitis, allergy, etc.) and with Sick Building Syndrome (SBS). For sampling of the indoor contaminants there are several methodologies, available including passive monitoring systems, active and automatic systems. To ensure a healthy indoor environment, the application of specific legislation needs to be reconciled with research and fostering awareness among the occupants of such buildings. This survey seeks to identify the different contaminants found in internal environments, their effects on human health and the methodologies available for sampling them.*

**Key words** *Air pollution, Indoor air quality, Sick building syndrome*

**Resumo** *A Qualidade do Ar Interno (QAI) surgiu como ciência a partir da década de 70 com a crise energética e a consequente construção dos edifícios selados (desprovidos de ventilação natural), principalmente nos países desenvolvidos, e se destacou após a descoberta de que a diminuição das taxas de troca de ar nesses ambientes era a grande responsável pelo aumento da concentração de poluentes no ar interno. Admite-se que a ventilação seja um dos principais fatores que interferem na qualidade do ar interno e que os próprios ocupantes dos edifícios contribuem substancialmente com a poluição destes ambientes através de suas atividades. Sabe-se ainda que a má qualidade do ar interno está associada a doenças (como tosse, rinite, alergia, etc.) e à Síndrome dos Edifícios Doentes (SED). Para amostragem de substâncias gasosas no ar de ambientes internos dispõe-se de diversas metodologias, sendo as principais: sistemas passivos de monitoramento, sistemas ativos e automáticos. Para a efetiva promoção de um ambiente saudável, deve-se conciliar a aplicação de legislações específicas com pesquisas e conscientização dos ocupantes dos edifícios. Essa revisão objetiva relacionar os diferentes contaminantes encontrados em ambientes internos, seus efeitos à saúde humana e suas metodologias de amostragem.*

**Palavras-chave** *Poluição do ar, Qualidade do ar interno, Síndrome dos edifícios doentes*

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-oeste, Rodovia PR 153 Km 07, Bairro Riozinho, 84500-000 Irati PR. wanasch@yahoo.com.br

## Introdução

Entende-se por ar interno aquele de áreas não industriais, como habitações, escritórios, escolas e hospitais<sup>1</sup>. O estudo de sua qualidade é importante para garantir saúde aos ocupantes dos diferentes edifícios, bem como o ótimo desempenho de suas atividades<sup>2</sup>.

A preocupação com a Qualidade do Ar Interno (QAI) surgiu principalmente com a tendência em se construir edifícios selados por motivos estéticos, controle de ruído e mesmo climatização, o que acabou provocando um aumento nos casos de problemas relacionados à qualidade do ar de tais ambientes<sup>3</sup>.

O interesse por estudos sobre a QAI surgiu após a descoberta de que a diminuição das taxas de troca de ar nesses ambientes era a grande responsável pelo aumento da concentração de poluentes biológicos e não biológicos no ar interno. Essa preocupação se justifica uma vez que grande parte das pessoas (em torno de 80-90%) passa a maior parte do seu tempo dentro destes edifícios e, conseqüentemente, exposta aos poluentes destes ambientes<sup>4-6</sup>.

Estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) indicam que os níveis de concentração de poluentes podem ser de duas a cinco vezes maiores em ambientes internos do que nos externos, mesmo em cidades altamente industrializadas. Esse fato, juntamente com o tempo de permanência em ambientes internos, faz com que os riscos à saúde humana sejam muito maiores nesses locais<sup>7</sup>.

De acordo com os padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS), mais da metade dos locais fechados como empresas, escolas, cinemas, residências e até hospitais tem ar de má qualidade. Essa baixa qualidade é causada, principalmente, pela má higienização dos aparelhos de ar condicionado e pela falta de controle periódico sobre as possíveis fontes de contaminação<sup>8</sup>.

Conforme Carmo e Prado<sup>9</sup>, vários poluentes como monóxido e dióxido de carbono, amônia, óxido de enxofre e nitrogênio, são produzidos dentro do edifício por materiais de construção, materiais de limpeza, mofo, atividades domésticas (cozinhar, lavar e secar roupas), entre outros. Os próprios ocupantes dos edifícios contribuem substancialmente com a poluição de ambientes internos, tanto pela respiração e transpiração, como pelo transporte de microorganismos potencialmente causadores de doenças. Isso sem falar no cigarro, um dos principais vilões de qualquer ambiente<sup>6</sup>. Brickus e Aquino Neto<sup>6</sup>, salientam ainda que a importância da qualidade

do ar interno ganhou projeção na mídia brasileira, principalmente depois que o Governo Federal, em 1996, proibiu o fumo em lugares fechados de uso coletivo, tendo por base estudos realizados por agências internacionais<sup>10</sup>. Mas ressaltam o fato de que essa preocupação pode levar a crer que a fumaça do tabaco é a grande e única culpada pela má qualidade do ar interno.

Segundo Jones<sup>11</sup>, admite-se que a ventilação seja um dos principais fatores que interferem na qualidade do ar interno. Sendo uma das principais ferramentas no controle da qualidade do ar desse ambientes, a ventilação é definida como a combinação de processos que resultam não só no fornecimento de ar externo, mas também na retirada do ar viciado, carregado de poluentes, de dentro do edifício. Basicamente os processos que envolvem a ventilação são: a entrada do ar externo, condicionamento e mistura do ar por todo o edifício e exaustão<sup>9</sup>.

Sabe-se ainda que sistemas de ventilação, quando mal operados e sem manutenção adequada, tornam-se fontes potenciais de poluentes, principalmente de materiais particulados e microrganismos (decorrentes do acúmulo de umidade nesses sistemas).

Sendo assim, para se ter um edifício saudável deve-se ter uma boa qualidade do ar interior, através do uso de adequadas taxas de ventilação, de sistemas de automação predial e, principalmente, de um monitoramento contínuo dessas instalações<sup>9</sup>.

A síndrome dos edifícios doentes (SED) pode ser definida, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), como **uma situação na qual os ocupantes ou usuários de um prédio específico apresentam sintomas sem origem determinada e sem a possibilidade de constatação de uma determinada etiologia, sendo, portanto, desconhecida**<sup>12</sup>.

Para que um edifício seja considerado doente, é necessário que pelo menos 20% de seus ocupantes apresentem sintomas como: irritação das mucosas, efeitos neurotóxicos, sintomas respiratórios e cutâneos e alterações dos sentidos, por no mínimo duas semanas, sendo que estes desaparecem quando o indivíduo se afasta do edifício<sup>2</sup>.

Admite-se que os principais fatores relacionados à SED são: aerodispersóides (poeira, fibras); bioaerossóis (fungos, bactérias, vírus); contaminantes químicos como COV (Compostos Orgânicos Voláteis) e formaldeído; contaminantes gerados pelo metabolismo humano; ventilação inadequada, entre outros<sup>13</sup>.

Assim, dada a importância da QAI, esta revisão objetiva relacionar os diferentes contaminantes encontrados em ambientes internos (de

diferentes origens, biológica e não-biológica), seus efeitos à saúde humana e suas respectivas metodologias de amostragem.

### Principais poluentes relacionados à qualidade do ar interno

É fato que o ar externo pode ser a principal fonte de poluentes (nesse caso, físicos, químicos e biológicos) para o ambiente interno. Apesar disso se evidenciar principalmente em locais de intensa circulação de veículos e em zonas industriais, as fontes de tais contaminantes podem ser as mais diversas, como a própria atividade humana (microrganismos, CO<sub>2</sub>, etc.) e até mesmo estruturas de alvenaria (caso do radônio).

Dentre os principais poluentes do ar interno, destacam-se tanto contaminantes de origem não-biológica [como o monóxido e o dióxido de carbono, o óxido e dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, ozônio, materiais particulados, fumaça de cigarro (*environmental tobacco smoke*) e os compostos orgânicos voláteis] quanto biológica (bactérias, fungos, etc.).

O termo material particulado (ou simplesmente MP) designa uma mistura física e química de diversos compostos presentes em suspensão no ar, tanto sólidos como líquidos (gotículas, aerossol, névoa, fumaça, etc.). Atividades como varrer, tirar pó e cozinhar contribuem para a suspensão das partículas. Os particulados produzidos em ambientes internos são, em geral, menores que os externos, e contêm uma quantidade maior de compostos orgânicos devido às características das suas fontes (fogão, cigarro) e da natureza das atividades realizadas dentro do prédio. Essas características fazem dos particulados internos potencialmente mais perigosos<sup>9</sup>. Além disso, é o tamanho do particulado que vai determinar seu destino, podendo este se depositar em superfícies, ficar suspenso no ar, ser retirado pelo sistema de ventilação, ou ainda ser inalado pelos ocupantes, acumulando-se nas vias aéreas superiores ou mesmo nos alvéolos<sup>6</sup>.

A fumaça do cigarro é um aerossol formado pela mistura de diversas substâncias distribuídas em particulados, vapores e gases. É considerada como o principal poluente de ambientes internos, principalmente pela quantidade de pessoas expostas. A fumaça de cigarro afeta também não fumantes que convivem com fumantes, os chamados fumantes passivos. Em alguns casos, os níveis de exposição a certos compostos são maiores em não fumantes do que em fumantes, como a N-nitrosodimetilamina, um

potente cancerígeno que se encontra em concentrações de 20 a 100 vezes maiores para fumantes passivos do que para fumantes ativos<sup>11</sup>.

Os principais COV encontrados em ambientes internos são: benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno, formaldeído, acetaldeído<sup>12,14</sup>. Os níveis de COV são maiores internamente, pois, apesar da entrada de COV a partir do ar externo também ser significativa, as fontes internas são mais importantes, principalmente em edifícios novos onde os materiais de construção apresentam taxas mais altas de emissão, que vão diminuindo com o tempo. O formaldeído é o COV mais encontrado em ambientes internos, chegando a ser considerado por certos autores como um dos mais importantes<sup>15</sup>. Também vale ressaltar que os COV estão diretamente relacionados aos sintomas da SED, detalhada a seguir<sup>1</sup>.

Quanto aos contaminantes de origem biológica, os principais são bactérias, fungos, grãos de pólen, ácaros e esporos. Sua importância no ar interno está no fato de serem responsáveis por causar inúmeras doenças infecciosas e alérgicas, provocadas por toxinas produzidas pelos microrganismos que crescem nos sistemas de ventilação. A principal forma de combater os problemas relacionados é evitando (ou pelo menos controlando) o crescimento destes a um nível mínimo. Pode-se alcançar esse objetivo através de medidas como: remoção de fontes de água que permitam o crescimento dos fungos; manutenção da umidade relativa do ar menor que 60%; remoção de materiais orgânicos porosos claramente infectados, como tapetes embolorados; umidificadores portáteis de ar devem ser evitados em escritórios porque raramente são mantidos em condições próprias de uso e acabam se tornando fontes em potencial; uso de filtros eficientes no sistema de tomada de ar externo e manutenção constante destes<sup>9</sup>.

### Doenças associadas à qualidade do ar interno

#### Doenças causadas por contaminantes biológicos

Alguns microrganismos ocasionam reações alérgicas, cujos sintomas incluem espirros, olhos lacrimejantes, tosse, deficiência respiratória, letargia, febre e problemas digestivos, além de serem causadores de pneumonia, rinite e asma<sup>15</sup>. De modo geral, as principais doenças associadas a poluentes biológicos são o Mal dos Legionários (ou legionelose, pois tem como agente a bac-

téria gram-negativa do gênero *Legionella*); a febre do umidificador (doença que se desenvolve a partir de exposições a toxinas de microorganismos, especialmente daqueles que crescem nos sistemas de ventilação dos edifícios); asma brônquica (espasmos associados à inalação de aerossol biológico); pneumonite alérgica ou alveolite extrínseca; pneumonia (infecção pulmonar associada a bactérias como *Streptococcus pneumoniae*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Legionella* e *Haemophilus influenzae*, vírus e alguns tipos de fungos)<sup>16,17</sup>.

#### **Doenças causadas por contaminantes não biológicos**

##### **Dióxido de carbono**

O dióxido de carbono não apresenta grandes problemas de toxicidade aos seres humanos. Entretanto, à medida que aumentam os níveis de concentração no ambiente, “a pessoa sente como se não houvesse ar suficiente”. De acordo com a Associação de Saúde do Canadá, exposições contínuas podem conduzir à desmineralização dos ossos<sup>9</sup>.

##### **Monóxido de carbono**

A afinidade do monóxido de carbono (CO) pela hemoglobina leva à formação de carboxihemoglobina, substituindo o oxigênio e ocasionando numa diminuição de seus níveis no sangue. Sendo assim, seus efeitos mais tóxicos são observados em órgãos como cérebro e coração, que demandam mais oxigênio.

##### **Dióxido de nitrogênio**

É um agente oxidante que compromete a função pulmonar, podendo causar infecções respiratórias e, em casos mais graves, enfisema pulmonar<sup>15</sup>.

##### **Óxido de nitrogênio**

Pode interferir no transporte de oxigênio para os tecidos produzindo efeitos parecidos como os do CO; pode provocar ainda edema pulmonar quando em elevadas concentrações<sup>9</sup>.

##### **Dióxido de enxofre**

Age principalmente como irritante, afetando a mucosa do olhos, nariz, garganta e trato respiratório. Sua inalação em doses elevadas causa danos ao sistema respiratório inferior; em casos de exposições crônicas, pode levar à diminuição da função pulmonar<sup>9,18</sup>.

#### **Material particulado**

Conforme Jones<sup>11</sup>, a inalação de material particulado causa irritação nas vias respiratórias, levando à constrição das mesmas. Outro grave problema é que estas partículas absorvem muitos gases prejudiciais, removendo-os do ar. Quando estas partículas são inaladas, os gases são juntamente aspirados, atingindo os pulmões<sup>19</sup>.

#### **Fumaça de cigarro**

Os principais sintomas da exposição à fumaça do cigarro em indivíduos adultos são rinite, faringite, tosse, dor de cabeça, irritação dos olhos e constrição dos brônquios. Crianças podem desenvolver asma, infecções respiratórias, bronquite e pneumonia<sup>18</sup>. Evidências mostram que essa fumaça tem potencial carcinogênico<sup>11</sup>, sendo a nicotina a responsável por elevar esse potencial<sup>20</sup>.

#### **Compostos orgânicos voláteis**

Segundo Schirmer<sup>21</sup>, a maioria dos COV são narcóticos e depressores do sistema nervoso central. São também causadores de irritações nos olhos, nas vias respiratórias e na pele. Exposições a alguns COV, em concentrações muito elevadas, podem alterar as funções neurocomportamentais e também levar ao desenvolvimento de câncer. Os COV podem ainda interagir uns com os outros, potencializando os efeitos adversos causados à saúde (sinergia)<sup>9</sup>.

#### **Amostragem de contaminantes em ambientes internos**

Apenas na década de 80 é que foram estipuladas as primeiras normas pela Organização Mundial da Saúde relacionadas à qualidade do ar interno. Já no Brasil, a qualidade de ar de interiores foi regulamentada inicialmente pela Resolução 176 de 24 de outubro de 2000 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)<sup>22</sup> e, posteriormente, pela Resolução 09 de 16 de janeiro de 2003<sup>23</sup>, a qual publicou Orientação Técnica sobre Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.

A Resolução 9, de 16 de janeiro de 2003 da ANVISA, normatiza as metodologias que devem ser empregadas quando da determinação de CO<sub>2</sub>, temperatura, umidade relativa do ar, bioaerossóis e aerodispersóides, em ambientes não industriais. No entanto, como existem outros compostos que exercem influência na qualidade do ar interno, o Ministério do Trabalho instituiu a

NR – 15 quando se tratar da análise em ambientes industriais. Além destas, a título de comparação, já que não apresentam valor legal no Brasil, podem-se utilizar padrões de referência internacionais, como a NIOSH e ASHRAE<sup>24</sup>, que também trazem valores máximos de exposição para compostos tóxicos (para jornadas de trabalho de 48 horas semanais).

Ao se realizar a avaliação da QAI, existem alguns parâmetros básicos que merecem especial atenção, entre eles: material particulado (incluindo material finamente particulado,  $PM_{10}$  ou  $PM_{2,5}$ ), óxidos de enxofre e nitrogênio, poeira, ozônio, COV e ácidos aerossóis<sup>25</sup>.

No entanto, antes de se efetuar a tomada de amostras, deve-se atentar a alguns fatores relacionados à escolha do método de amostragem, entre eles confiança, exatidão, facilidade de operação e custo<sup>25</sup>.

### Tipos de amostradores

Para a amostragem de substâncias gasosas no ar de ambientes internos dispõe-se de diversas metodologias, entre as quais pode-se destacar como mais importantes<sup>26</sup>:

- . Sistemas passivos de monitoramento
- . Sistemas ativos de monitoramento
- . Sistemas automáticos de monitoramento

### Sistemas passivos de monitoramento

Em amostradores passivos, a coleta de espécies gasosas presentes na atmosfera é baseada na capacidade de difusão molecular das mesmas e sua reação com os meios absorventes (ou adsorventes) do amostrador<sup>27</sup>.

Quando se faz referência às vantagens do uso de amostradores passivos, Andrés et al.<sup>26</sup> destacam que uma das principais reside no fato de que este tipo de amostrador apresenta, inicialmente, custo muito baixo; além disto, são sistemas simples, desde a tomada de amostras até sua análise em laboratório, sendo dispensável a utilização de pessoal altamente qualificado. Amostradores passivos são projetados para mensurar, na maioria dos casos, concentrações em níveis de ppm, por um período médio de 8 horas, em ambientes ocupacionais. Porém, este nível de detecção pode ser menor que 1 ppb, quando aplicado na determinação de compostos específicos em ambientes internos<sup>28,29</sup>.

Para a amostragem da exposição individual a compostos tóxicos, os dispositivos passivos são geralmente fixados na roupa, próximos ao rosto do operador. No entanto, quando se deseja obter

uma avaliação da qualidade do ar em ambientes internos, os amostradores devem ser posicionados a uma altura média de 1,5 metros, próximo à zona de respiração dos indivíduos expostos<sup>29</sup>.

De acordo com Cruz e Campos<sup>30</sup>, para se realizar a coleta de poluentes gasosos, utiliza-se como meio coletor (ou fixador) sólidos com elevada capacidade de adsorção de poluentes gasosos. Nesse caso, admite-se que o adsorvente adequado é aquele capaz de amostrar grandes volumes de ar poluído, sem causar interferências no resultado da amostragem. Além destas propriedades, deve optar por adsorventes não higroscópicos e resistentes a altas temperaturas.

A amostragem pode ainda se dar por absorção. Nesse caso, a escolha do meio absorvente para tomada de amostras deve ser condicionada, principalmente, pela afinidade entre o adsorvente e os compostos a serem amostrados<sup>29</sup>.

### Sistemas ativos de monitoramento

Diferentemente dos sistemas passivos de amostragem, Andrés et al.<sup>26</sup> definem sistemas ativos como aqueles que, mediante a utilização de uma bomba de aspiração, forcem a passagem de ar através de um meio de coleta, seja ele químico ou físico.

Devido à utilização de uma bomba de aspiração, verifica-se que o volume de ar amostrado é maior, em comparação com sistemas passivos. Sendo assim, pode-se admitir que a confiabilidade do dispositivo ativo é maior, uma vez que se conhece o volume amostrado e, conseqüentemente, a concentração do meio<sup>26</sup>.

### Analísadores automáticos (sensores)

Segundo Andrés et al.<sup>26</sup>, os dispositivos automáticos, ou sensores, baseiam-se em alguma propriedade do contaminante, seja ela física ou química, que pode ser, por meio de métodos óptico-eletrônicos, detectada e quantificada continuamente. Gioda e Aquino Neto<sup>24</sup> afirmam que esta propriedade característica do contaminante é responsável pela produção de sinais em uma câmara de reação, tais como, mudança de cor, emissão de luz fluorescente, mudança do potencial elétrico na superfície, fluxo de elétrons, produção de aquecimento, ou mudança na frequência de oscilação de um cristal. Estes estímulos são então percebidos por uma fotocélula, a qual produz um sinal eletrônico proporcional à concentração do contaminante.

Sensores químicos fornecem a concentração de uma espécie ou classe específica de analitos em

uma amostra, desconsiderando as demais espécies presentes na amostra analisada<sup>24</sup>.

### Amostragem de poluentes de ar interno

#### Bioaerossóis

No Brasil utiliza-se como metodologia para determinação deste marcador epidemiológico, a Resolução ANVISA nº 9 de 16 de janeiro de 03, que estabelece a Norma Técnica 001 (NT 001), a qual normatiza os critérios, método de amostragem e análise de bioaerossol em ambientes interiores.

Segundo a NT 001, para a coleta de amostras, utiliza-se um impactador linear de 1, 2 ou 6 estágios. A norma estabelece que o ar deve ser coletado a uma vazão de 28,3 L.min<sup>-1</sup>, durante um período de 5 a 15 minutos. Após aspirado, o ar passa através de um meio filtrante, sendo forçado a depositar-se em uma placa de petri, onde está contido o meio de cultura. A legislação estabelece que, para coleta de fungos, deve-se, preferencialmente, utilizar o Agar Extrato de Malte, Agar Sabourad ou o Agar Batata como meio de cultura<sup>16</sup>.

Para determinação do número de amostras a serem efetuadas, deve-se observar a área construída do edifício (ver Tabela 1). Além disto, indica-se que as amostras sejam coletadas a 1,5 metros de distância do chão<sup>17</sup>.

Segundo a Resolução nº 9, o tempo mínimo de incubação para fungos é de 7 dias, à temperatura de 25°C, enquanto que para bactérias é de no mínimo 2 dias, à temperatura de 37°C<sup>23</sup>.

#### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

No Brasil, a Resolução ANVISA nº 9 apresenta a Norma Técnica 002 (NT 002), que estabelece a metodologia de amostragem e análise de CO<sub>2</sub> em ambientes interiores. De acordo com a legislação, o processo para determinação da con-

centração de CO<sub>2</sub> consiste na leitura direta, mediante utilização de sensor infravermelho não dispersivo, ou célula eletroquímica, devidamente calibrado. Deve-se observar, durante a escolha do sensor, que sua faixa de sensibilidade seja de 0 a 5.000 ppm. Além disso, sugere-se que as medições sejam realizadas nos períodos em que o ambiente se encontra com maior utilização, a uma distância de 1,5 metros do chão. O número de amostras é aquele definido pela Tabela 1<sup>23</sup>.

De acordo com Basto<sup>16</sup>, devido à produção de CO<sub>2</sub> em ambientes internos ser, em sua quase totalidade, devido à atividade metabólica dos ocupantes, pode-se afirmar que em sua amostragem serão determinados os níveis residuais deste poluente e, indiretamente, pode-se verificar as condições de renovação de ar externo.

#### Aerodispersóides

A amostragem de aerodispersóides no Brasil também é normatizada pela Resolução ANVISA nº 9 (Norma Técnica 004).

O processo de amostragem consiste na utilização de uma bomba de aspiração que coleta o ar, a uma vazão recomendada de 2 L.min<sup>-1</sup>, forçando sua passagem por uma unidade filtrante, de 37 mm de diâmetro, com porosidade de 5 µm e constituída por uma mistura de ésteres de celulose. A amostragem deve ser realizada por um tempo determinado em função do volume de ar a ser amostrado, o qual pode variar de 50 a 400 L<sup>16,23</sup>. Segundo o mesmo autor, por meio da amostragem de aerodispersóides, pode-se verificar tanto a eficiência da filtragem nos sistemas de ventilação quanto à presença de sujeira nos dutos de ventilação.

Para determinação da massa de aerodispersóides, é realizada a pesagem dos filtros, em balança de precisão, durante a preparação dos mesmos e após a amostragem<sup>16</sup>. A concentração de aerodispersóides é então determinada procedendo-se ao cálculo do quociente entre diferença das massas e o volume de ar amostrado<sup>19</sup>.

#### Compostos orgânicos voláteis

Comparando-se as técnicas de amostragem de COV, verifica-se que a que mais se destaca, em termos de praticidade, simplicidade e custo de operação é a amostragem passiva em tubos com sólidos absorventes. Por estes motivos, tende a ser mais largamente utilizada que as demais técnicas, entre elas, a amostragem ativa<sup>31</sup>.

Ao se realizar a tomada de amostras, torna-se necessário a determinação da taxa de amostragem, a qual, teoricamente, varia somente em função da geometria do captor e do coeficiente de

**Tabela 1.** Determinação do número de amostras em função da área construída do edifício.

Área construída (m <sup>2</sup> )	Número mínimo de amostras a serem coletadas
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

Fonte: Brasil<sup>23</sup>.

difusão do poluente no ar a ser amostrado. No entanto, verifica-se que, na prática, algumas condições ambientais, entre elas temperatura ambiente, pressão, umidade relativa e natureza do material absorvente, podem tornar variável esta taxa. Sendo assim, devido a estas interferências, torna-se importante, além da determinação da taxa de amostragem local, a utilização simultânea de outro método de amostragem, por exemplo, amostragem ativa (validação da amostragem passiva), o que pode vir a constituir uma dificuldade ao emprego da amostragem passiva<sup>31-34</sup>.

### Conclusões

Apesar da crescente preocupação em relação à QAI, em nível de Brasil, são poucos os estudos realizados em torno do tema. A maior parte das pesquisas, em Engenharia Ambiental, ainda apoia-se sobre tratamento de resíduos sólidos e líquidos bem como águas de abastecimento. Entretanto, similarmente ao que já vem se obser-

vando em âmbito internacional, a expectativa é de que, também no Brasil, ocorra um aumento no controle da qualidade do ar de ambientes internos, bem como a adoção de medidas mais rigorosas específicas para fontes de diferentes naturezas e a inclusão de um programa de medida e controle/abatimento desses contaminantes.

Entretanto, admite-se que dentre os fatores limitantes ao desenvolvimento da QAI no Brasil, pode-se destacar a falta de legislação específica que estabeleça padrões e metodologias de amostragem para compostos orgânicos (como por exemplo COV, BTEX e HPA) em ambientes internos não industriais e a falta de incentivo à pesquisas na área.

O maior controle e rigor na manutenção dos sistemas de ventilação e de outros fatores intervenientes na QAI diminuiria os riscos de contaminação do ar o que, por conseguinte, diminuiria os gastos com saúde dos ocupantes e as taxas de absentismo. Sendo assim, para a efetiva promoção de um ambiente interno saudável, deve-se conciliar a aplicação da legislação com pesquisas e conscientização dos ocupantes dos edifícios.

### Colaboradores

MA Gauer, LB Pian e MSE Szymanski participaram da pesquisa bibliográfica e da redação do artigo, e WN Schirmer orientou os acadêmicos (os demais autores) na elaboração do artigo, revisão do trabalho durante e após seu término e formatação para as normas da revista Ciência & Saúde Coletiva.

### Referências

1. Wang S, Ang HM, Tade MO. Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art. *Environ Int* 2007; 33(5): 694-705.
2. Gioda A, Aquino Neto FR. Considerações sobre estudos de ambientes industriais e não-industriais no Brasil: uma abordagem comparativa. *Cad Saude Publica* 2003; 19(5):1389-1397.
3. Gioda A. *Poluição Atmosférica e de Interiores: Influência Mútua e Seus Reflexos na Saúde* [tese]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2003.
4. Lee H, Awbi HB. Effect of internal partitioning on indoor air quality of rooms with mixing ventilation - basic study. *Build Environ* 2004; 39(2):27-41.
5. Turiel I, Hollowell CD, Miksch R, Rudy JV, Young RA, Coye MJ. The effects of reduced ventilation on indoor air quality in an office building. *Atmos Environ* 1983; 17(1):51-64.
6. Brickus LSR, Aquino Neto FR. A qualidade do ar de interiores e a química. *Quím Nova* 1999; 22(1):56-74.

7. American lung association. Indoor Air Quality and its Effects on Health. *Asthma magazine* 2000; 5(5):22-23.
8. World Health Organization (WHO). *Indoor air quality: biological contaminants*. Rautavara; 1998.
9. Carmo AT, Prado, RTA. *Qualidade do ar interno*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 1999.
10. Brasil. Palácio do Planalto. Lei nº 9.294, de 15 de julho de 1996: Dispõe sobre as restrições ao uso e à propaganda de produtos fumíferos, bebidas alcoólicas, medicamentos, terapias e defensivos agrícolas, nos termos do § 4º do art. 220 da Constituição Federal. [acessado 2008 nov 13]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19294.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19294.htm)
11. Jones AP. Indoor air quality and health. *Atmos Environ* 1999; 33(28):4535-4564.
12. World Health Organization (WHO). *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. EURO Reports and Studies n. 111. Copenhagen; 1989.
13. Hoppe LF. Qualidade dos ambientes interiores e o papel da saúde ocupacional. In: *Anais do I Encontro paulista de meio ambiente e controle da qualidade do ar de interiores*, 1999; São Paulo. São Paulo: Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle de Qualidade do Ar de Interiores; 1999. p. 43-51.
14. Wolkoff P, Nielsen GD. Organic compounds in indoor air – Their relevance for perceived indoor air quality? *Atmos Environ* 2001; 35(26):4407-4417.
15. United States Environmental Protection Agency (USEPA). *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality*, 1995. Report N°: EPA-402-K-93-007.
16. Basto JE. *Requisitos para Garantia da Qualidade do Ar em Ambientes Climatizados Enfoque em Ambientes Hospitalares* [monografia]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2005.
17. Lenzi FS, Moreira IM, Tavares DF. *Qualidade do Ar em Diferentes Ambientes do Hospital Regional de São José* [trabalho de conclusão da disciplina – graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2007.
18. United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Indoor Air Pollution – An Introduction for Health Professionals*, 1994. Report N°: EPA-402-R-94-007.
19. Moraes AP. *Qualidade do Ar Interno com Ênfase na Concentração de Aerodispersóides nos Edifícios* [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2006.
20. Eatough D J, Benner CL, Bayona J M, Caka FM, Mooney RL, Lamb JD, Lee ML, Lewis EA, Hansen LD, Eatough NL. *Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 1987; Berlin, Germany.
21. Schirmer WN. *Amostragem, análise e proposta de tratamento de compostos orgânicos voláteis (COV) e odorantes em estação de despejos industriais de refinaria de petróleo* [dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2004.
22. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução n. 176 de 24 de outubro de 2000. Brasília, DF; 2000.
23. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução n. 9 de 16 de janeiro de 2003. Brasília: ANVISA; 2003.
24. Gioda A, Aquino Neto FR. Uso de sensores para caracterização da qualidade do ar de interiores. *Rev Brasindoor* 2000; 4(5):4-15.
25. World Bank Group (WBG). *Monitoring Environmental Quality. Pollution Prevention and Abatement Handbook*. 1998; 7p.
26. Andrés DA, Ferrero EJ, Mackler CE. Importancia de la combinación de equipos activos y pasivos de monitoreo em sistemas de vigilancia de la contaminación atmosférica urbana. *Rev Tecnocias* 1999; 2(julio):15-19.
27. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental (CETESB). *Monitor passivo de dióxido de enxofre: construção e testes de validação*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; 1998.
28. Yamamoto N, Matsubasa T, Kumagai N, Mori S, Suzuki K. A diffuse badge sampler for volatile organic compounds in ambient air and determination using a thermal desorption-CG-MS system. *Anal Chem* 2002; (74):484-87.
29. Piceli PC. *Quantificação de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos no Ar de Ambientes Climatizados* [dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2005.
30. Cruz LOS, Campos VP. Amostragem passiva de poluentes atmosféricos. Aplicação ao SO<sub>2</sub>. *Quim Nova* 2002; 25(3):406-11.
31. Albuquerque EL, Tomaz E. Validação da amostragem passiva de BTEX na atmosfera de São Paulo, Brasil. In: *Anais do 30º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2006; Punta del Este. 1 CD-Rom.
32. Brown RH, Wright MD, Plant NT. The use of diffusive sampling for monitoring of benzene, toluene and xylene in ambient air. *Pure Appl Chem* 1999; 71(10):1993-2008.
33. Gheleri LC. *Amostragem Passiva de Benzeno na Atmosfera* [dissertação]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2003.
34. Health and Safety Executive (HSE). Occupational Medicine and Hygiene Laboratory. Methods for the Determination of Hazardous Substances, MDHS 80: Volatile Organic Compounds in air - Laboratory methods using diffusive solid sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography; 1995.

Artigo apresentado em 07/04/2008

Aprovado em 13/11/2008

Versão final apresentada em 22/11/2008