

## QUALIDADE DO AR EM AMBIENTE INTERIOR: EXPERIMENTOS EXPLORATÓRIOS SOBRE A PRESENÇA DE FORMALDEÍDO

**Herminia Dallegrave Bonfim Breginski (1); Aloísio Leoni Schmid (2)**

(1) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, [herminiadb@gmail.com](mailto:herminiadb@gmail.com)

(2) Doutorado em Engenharia pelo Karlsruher Institut für Technologie, Alemanha(1996), Chefe do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Paraná, [aloisio.schmid@gmail.com](mailto:aloisio.schmid@gmail.com)  
Cx Postal 19011 Curitiba – Pr., 81531-990 Tel: (041) 3361-3085.

### RESUMO

Doenças respiratórias têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, devido à má qualidade do ar no interior, onde adultos e crianças passam uma grande parte do seu tempo. Entre os contaminantes do ar interior o formaldeído é o mais abundante, presente em grande quantidade nos materiais de construção e decoração, especialmente os constituídos de madeira composta. Como o Brasil não possui padrões para quantidades máximas de emissões de formaldeído no ambiente interior não industrial, os materiais de construção e de decoração não são fiscalizados com relação à emissão de formaldeído. Essa pesquisa buscou verificar a eficiência dos métodos que fossem de técnica simples, rápida, barata e com resultado imediato para medição da concentração de formaldeído no ambiente interior. Foram medidas sala de aula de uma universidade construída em wood frame, salas administrativas recém reformadas de um hospital universitário onde havia grande quantidade de mobiliário novo em MDF, um ambiente residencial, onde foi colocado uma placa de MDF. Também foram realizados experimentos em um aquário onde foi colocado formaldeído diluído em água. Como resultado desta pesquisa foram originadas recomendações de medidas para reduzir a contaminação do ar por formaldeído, proposta adoção de legislação específica para produtores e importadores de painéis e materiais de construção e de decoração que utilizem madeira composta assim como proposta para reformulação da NR 15 no que se refere à insalubridade do trabalhador exposto ao formaldeído.

Palavras-chave: Formaldeído. Ar interior. Madeiras Compostas.

### ABSTRACT

Respiratory diseases have increased considerably in recent years, due to poor air quality inside, where adults and children spend much of their time. Among the indoor air contaminants, formaldehyde is the most abundant, present in large quantities in the construction and decoration materials, especially those made of composite wood. As Brazil does not have standards for maximum quantities of formaldehyde emissions in non-industrial indoor environment, building materials and decoration are not monitored regarding to formaldehyde emission. This research analyzes the efficiency of simple, quick and low cost techniques for measuring formaldehyde concentration in the indoor environment. The measurements were done in classrooms of an university built in wood frame, newly renovated administrative offices of an university hospital, where there were lots of new furniture in MDF, and also in a residential environment, where MDF board was placed. Experiments were also performed in an aquarium where a known amount of formaldehyde, diluted in water, was placed. As result of this research, recommendations were originated to reduce air contamination by formaldehyde.

Keywords: Formaldehyde. Indoor environment. Composite wood.

## 1. INTRODUÇÃO

A má qualidade do ar tem provocado efeitos adversos para a saúde da população, e tal fato se verifica em países de diferentes graus de desenvolvimento.

A qualidade do ar de ambientes interiores assumiu importante papel não só em questões relativas à Saúde Pública, como também no que diz respeito à Saúde Ocupacional devido à elevação da taxa de absenteísmo como também à redução na produtividade e na qualidade de vida do trabalhador, diante de sua exposição a um ambiente inadequado à ocupação (INMETRO, 2013).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Banco Mundial estimam que quatro milhões de pessoas com DRC (doenças respiratórias crônicas) podem ter morrido prematuramente em 2005 e as projeções são de aumento considerável do número de mortes no futuro devido à má qualidade do ar no interior de residências, escolas, escritórios, e demais ambientes onde adultos e crianças passam uma grande parte do seu tempo. Os compostos orgânicos voláteis (COV) são os principais grupos responsáveis pela contaminação do ar nos ambientes internos. Em edifícios novos ou recém-reformados, os índices de concentração de COV são elevados, e as principais fontes destes compostos são materiais de construção, e de decoração, principalmente madeiras compostas, tintas, vernizes e mobiliário (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

O formaldeído é um dos mais estudados poluentes do ambiente interior, uma vez que foi classificado no Grupo 1 de substâncias cancerígenas ao ser humano pela Agência Internacional para Pesquisa Sobre o Câncer (IARC, 2004). Resinas à base de formaldeído são componentes utilizados em materiais de acabamento, painéis de madeira compensada, MDF (*medium density fiberboard*), aglomerado, OSB (*oriented strand board*), sendo todos amplamente empregados na construção de casas móveis e convencionais, como materiais de construção e também como componentes de móveis e painéis decorativos (PINTO *et al.* 2007).

O formaldeído, descoberto em 1867 pelo químico alemão August Wilhelm von Hofmann, é também conhecido como metanal segundo a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), sinonímia formol, é considerado o composto mais simples da família dos aldeídos. Segundo Zhang *et al.* (2009), dada a sua importância econômica e uso generalizado, muitas pessoas estão expostas ao formaldeído ambiental e ou ocupacional. Segundo Schirmer *et al.* (2011), o formaldeído é o COV mais encontrado nos ambientes internos, chegando a ser considerado por certos autores como um dos mais importantes. Segundo Kelly *et al.* (1999), citado por Alves e Aciole (2012), o formaldeído é um agente químico empregado em várias atividades industriais, com particular dimensão na produção de diversos tipos de resinas. Utilizado em resinas sintéticas, fenólicas, uréicas e melamínicas nas indústrias de madeira, papel e celulose, em abrasivos, plásticos, esmaltes sintéticos, tintas e vernizes, na indústria têxtil em carpetes e tapetes e de fundição. A exposição ocupacional envolve não apenas os indivíduos que trabalham no fabrico direto de formaldeído e produtos que o contenham, mas também aqueles em indústrias que utilizam estes produtos, tais como a indústria da construção civil. Ainda, segundo o mesmo autor, destas, a mais importante fonte de exposição global ao formaldeído é a poluição do ar interior pelos modernos artigos de decoração. Cerca de 90% ou mais das placas de madeira composta do mundo são produzidas com resina de ureia formaldeído (BORAN *et al.*, 2011).

De acordo com Berstein *et al.* (2008), nos ambientes internos não industriais, exposições ambientais são mais sutis e não são facilmente reconhecidas. Nos casos extremos, termos como, síndrome do edifício doente, síndrome do mofo tóxico e múltiplas sensibilidades químicas, foram inventados por falta de uma melhor maneira de caracterizar a constelação de sintomas ainda não explicados que são atribuídos a alguma exposição em casa ou no trabalho não industrial a substâncias prejudiciais à saúde.

O formaldeído é um agente reconhecidamente cancerígeno em humanos. Em julho de 2004, a Agência Internacional para Pesquisa sobre Câncer (IARC), classificou este composto como carcinogênico (Grupo 1), tumorigênico e teratogênico por produzir efeitos na reprodução para humanos, estudos experimentais demonstraram ser também, para algumas espécies de animais. De acordo com o Instituto Nacional do Câncer (INCA), em relação ao câncer, não há níveis seguros de exposição (INCA, 2015).

A Resolução nº 9 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), de 16 de janeiro de 2003, determina a publicação de orientação técnica elaborada por grupo técnico assessor sobre padrões referenciais da qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente, de uso público e coletivo. Apesar da determinação acima, a resolução não fornece nenhum padrão ou limite de exposição, mesmo reconhecendo o formaldeído como poluente químico, apenas sugere como principal medida a seleção de materiais de construção, acabamento e mobiliário que possuam ou emitam menos formaldeído ou o uso de produtos de limpeza que não possuam formaldeído na sua composição. Segundo Gioda e de Aquino Neto (2003), os

compostos carcinogênicos não são regulamentados no Brasil e como a maioria dos compostos, não foi submetida a todos os testes de toxicidade necessários, é possível que, tanto no setor industrial quanto em ambientes interiores, a população esteja exposta a uma carga mais elevada de poluentes. Para exposições ao formaldeído em interiores residenciais não ocupacionais a Organização Mundial da Saúde recomendou um limite de 0,1 mg/m<sup>3</sup> ou cerca de 0,08 ppm. Países como Japão, China e Reino Unido adotaram o valor da OMS. A Alemanha e Singapura, por exemplo, tem o limite um pouco superior, de 0,098 ppm ou 0,123 mg/m<sup>3</sup>. Já os Estados Unidos não possuem limite de exposição ao formaldeído para ambientes residenciais, (TANG 2009).

### **1.1 Fontes de formaldeído em uma construção nova**

Em edifícios recentemente construídos ou que recentemente sofreram obras de reforma e ou decoração, as concentrações de COV podem ser superiores às tipicamente encontradas no ambiente interior. Isto porque os COV são emitidos pelas fontes para a atmosfera durante um período de tempo relativamente curto e, devido à sua subsequente dispersão, as respectivas concentrações no ar declinam rápida e exponencialmente. Assim, os pintores poderão estar expostos frequentemente a doses particularmente elevadas (Wieslander *et al.*, 1997). Segundo Hodgson *et al.*(2002), madeira e produtos de madeira composta são prováveis principais fontes de aldeídos e terpenos em casas novas. Também podem estar expostos de modo mais intenso os marceneiros e carpinteiros.

As concentrações de formaldeído são mais elevadas em edifícios residenciais em comparação com edifícios de escritórios devido à grande proporção de produtos de madeira composta em relação ao volume de ar em casas (BERSTEIN *et al.*,2008).

De acordo com o banco de dados de emissões de poluentes atmosféricos interiores PANDORA (*comPilAtioN of inDOor aiR pollutAnt emissions*), para formaldeído, emissões após 28 dias são mais baixas do que aquelas depois de 3 dias para a metade dos materiais estudados, devido à diminuição da massa do poluente no interior dos materiais ao longo do tempo. No entanto, quando há vários materiais pertencentes a um dado "tipo" do grupo, a tendência oposta é observada. Neste caso, as evoluções de tempo da taxa de emissão podem ser diferentes, de modo que a taxa de emissão máxima de 3 dias pode vir de um material e a de 28 dias, de outro material (ABADIE e BLONDEAU 2011).

### **1.2 Métodos para medição do formaldeído**

Há uma crescente demanda por métodos simples e rápidos de controle interior de formaldeído, e isto tem estimulado atividades de investigação no domínio da tecnologia de sensor. No entanto, os sensores disponíveis ainda sofrem os limites de detecção relativamente altos, o que torna a técnica principalmente apropriada para ambientes de trabalho (SALTHAMMER *et al.* 2010).

O formaldeído é normalmente medido por reação de 2,4-dinitrofenil-hidrazina (DNPH) em um cartucho de sílica, o formaldeído no ar reage com DNPH em um cartucho absorvente de modo a formar o produto de 2,4-dinitrofenilhidrazona, o qual é, então, transportado para um ambiente de laboratório para análise por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) (EPA, 1999; GROSJEAN, 1991; KUNTZ *et al.*,1980 *apud* DANNEMILLER *et al.*, 2013). Ainda, segundo o mesmo autor, esse método possui limite de detecção de 0,5 ppb (EPA, 1999), o método requer prolongado tempo de amostragem, equipamentos analíticos caros, além de ser propenso a contaminação durante o transporte e análise.

A amostragem de formaldeído em casas é muitas vezes difícil, devido a baixas concentrações presentes, e apenas algumas técnicas disponíveis têm sensibilidade adequada (SANDNER *et al.* 2001 *apud* DANNEMILLER *et al.* 2013). Embora muitas técnicas com sucesso terem sido utilizadas no passado, em geral estes métodos permanecem demorados, difíceis e dispendiosos.

Segundo Dannemiller *et al.* (2013), o formaldeído é frequentemente medido no local de trabalho utilizando tubos detectores de gás colorimétricos. As concentrações são lidas diretamente no tubo calibrado em função da cor desenvolvida. O ar é recolhido para dentro dos tubos através de uma bomba que pode ser manual ou mecânica. Para níveis do ar interior dito limpos, este método é apenas marginalmente sensível, mas pode ser útil na identificação da presença de fonte de formaldeído e sua avaliação. O tempo de amostragem necessário é de 10-30 min, e nenhum equipamento analítico caro é necessário. Além disso, não existe um potencial para contaminação da amostra a partir do formaldeído do ambiente durante o transporte ou na análise em laboratório, como acontece com amostradores passivos, isto porque o tubo é selado antes da amostragem e os resultados são obtidos imediatamente na conclusão do período de amostragem. Além disso, as amostras de curto prazo não estão sujeitas a manipulações quando deixados sozinhos por longos períodos de tempo como acontece com os cartuchos utilizados na amostragem passiva. Ainda, segundo o mesmo

autor, método de tubos detectores de gás colorimétricos é econômico e fácil de usar.

O monitor eletroquímico é um analisador ativo de leitura direta. O formaldeído reage eletroquimicamente no eletrodo específico para os aldeídos, gerando uma corrente elétrica proporcional à concentração. Uma pequena bomba interna do monitor faz a recolha do ar continuamente. O nível mínimo detectável está na gama de 0,2 a 5 ppm. As vantagens desses monitores são a 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 (ALVES e ACIOLE, 2012).

Segundo Mariano *et al.* (2010), o desenvolvimento de um sensor rápido, sensível e de baixo custo, que pode detectar uma vasta gama de concentrações (1-200 ppb), de formaldeído é um desafio importante e significativo.

## **2. OBJETIVO**

O presente trabalho, de caráter exploratório, tem por objetivo avaliar os níveis de exposição ao formaldeído em ambientes interiores construídos em wood frame (painéis de madeira com estrutura de pinus tratado), recém reformado com mobiliário novo em MDF e onde foi colocado uma placa de MDF, através de utilização de técnicas de medição rápidas, de baixo custo e com resultado imediato, utilizando equipamento portátil de sucção do ar através de tubos detectores e de equipamento eletroquímico de medição de formaldeído.

## **3. MÉTODO**

Primeiramente foi elaborada revisão bibliográfica com objetivo de validar a pesquisa de campo. Posteriormente foram executadas medidas em ambientes previamente escolhidos. Também foram realizados experimentos em ambientes previamente preparados.

### **3.1. Pesquisa experimental**

Foram realizados experimentos exploratórios em ambientes escolhidos em função do mobiliário, dos materiais de construção, ou onde houvesse relatos de desconforto ou irritação respiratória pelos usuários; a pesquisadora fez as medições com o propósito de proporcionar uma primeira visão global do problema e identificando também se o fator ventilação pode influenciar na qualidade do ar nos ambientes pesquisados. Foram escolhidos uma sala de aula de um campus universitário construída em *wood frame*, salas administrativas recém reformadas e com mobiliário novo em MDF e um laboratório de anatomia patológica, ambos dentro de um hospital universitário. Além dos ambientes descritos anteriormente, foi colocada uma placa com de MDF cru em um ambiente residencial de pequena área. Foi selecionada entre as variáveis a capaz de influenciar os valores da poluição interior e que ao mesmo tempo fossem passíveis de controle pelo usuário do ambiente a ser pesquisado. Desse modo optou-se por analisar primeiramente os ambientes sem ventilação natural e posteriormente os mesmos ambientes ventilados. Também foram realizados experimentos em um pequeno aquário onde foram colocadas soluções de formaldeído previamente preparadas e com concentrações conhecidas.

#### *3.1.1. Materiais e equipamentos*

As medições de formaldeído foram executadas com tubos colorimétricos das marcas MSA AUER e RAE Systems certificados com a norma ISO 9001. A bomba utilizada, THUMB MSA AUER, do tipo manual que é o equipamento utilizado para permitir a passagem do ar através do tubo. Também foi realizada medição com detector domiciliar eletroquímico de formaldeído. Foi utilizado solução de formaldeído a 37%, micropipeta LABMATE com capacidade entre 20 a 200ml certificada com ISSO 9001e um pequeno aquário com tampa de vidro e com capacidade de 0,00754m<sup>3</sup>.

#### *3.1.2. Medições com tubos colorimétricos*

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2009) recomenda efetuar a medição dos poluentes provenientes da estrutura do edifício, mobiliário, ou da ventilação (formaldeído, COVs, contaminação microbiana), no ambiente interior, durante o período da manhã, se o sistema de ventilação for desligado ou as janelas fechadas durante a noite ou durante o fim-de-semana. A estratégia de amostragem deve ser elaborada de modo a avaliar as piores condições, como instantes de emissão máxima do equipamento e mínimo de ventilação. Os resultados da amostragem das piores situações são de grande ajuda na caracterização da

exposição do ocupante. O local de monitorização estava sempre a no mínimo 0,5 m das janelas, dos cantos, das paredes, divisórias, mobiliários e de outras superfícies verticais. As tomadas de amostragens foram colocadas sempre a uma altura de  $1,5 \pm 0,5$  m acima do chão, altura da narina dos ocupantes. Nessa pesquisa todas as recomendações da APA foram seguidas pela pesquisadora, com o objetivo de documentar o valor detectado na pior condição do ambiente analisado.

As primeiras medições com tubos colorimétricos tiveram início em junho de 2014 numa sala de aula localizada em um campus universitário situado na região central de Curitiba, denominado escritório verde. Essa sala de aula foi construída em *wood frame*, e o ambiente foi inaugurado há três anos. A escolha desse ambiente deveu-se ao fato da estrutura de vedação ser constituída por painéis de madeira composta, os quais são fontes possíveis de contaminação do ar por formaldeído. Nas primeiras medições foram utilizados tubos colorimétricos da marca MSA AUER.

Posteriormente foi realizada medida no laboratório de anatomia patológica do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná localizado na região central da cidade de Curitiba, no momento da diluição de doze litros de formaldeído em 114 litros de água, com objetivo de testar a eficácia do método bem como a confiabilidade dos tubos adquiridos. O experimento em um laboratório de anatomia patológica foi realizado propositalmente durante a diluição do formaldeído para que houvesse presença de formaldeído detectável pelo tubo.

### *3.1.3. Medições com tubos colorimétricos e detector eletroquímico de formaldeído respectivamente*

As primeiras medidas com detector eletroquímico domiciliar de formaldeído e com os tubos colorimétricos de ambos os fabricantes, iniciaram em outubro de 2014. Primeiramente foi realizada medição na sala de aula do escritório verde. As janelas e portas foram fechadas às 18:00 h do dia anterior ao dia da medida, para que não houvesse interferência da poluição exterior na quantificação de formaldeído e também para constatar a pior situação, quando os profissionais e alunos iniciam suas tarefas no ambiente. Primeiramente foram realizadas medições com as janelas e portas fechadas e na sequência com as janelas abertas.

No mesmo mês foi efetuada medição no laboratório de anatomia patológica do hospital universitário. A janela permaneceu fechada, porém com o ar condicionado de parede ligado devido a haver trabalhadores no local.

Ainda em outubro foram realizadas medições em três salas administrativas do Serviço de Controle de Infecção Hospitalar (SCIH) do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná, com objetivo inicial de verificar se os níveis de contaminação do ar teriam limite detectável pelos tubos colorimétricos, cujo nível de detecção é menor que o do detector eletroquímico. As salas, localizadas em área administrativa do hospital, portanto sem interferência de produtos químicos utilizados em hospitais, tinham sido reformadas havia 30 dias e estavam com mobiliário em MDF novo. A exceção da sala de reuniões onde a mesa e as cadeiras são em madeira maciça, nas demais salas a predominância é de mobiliário novo em MDF. A pintura das paredes das salas foi executada com tinta acrílica semi-brilho, as portas receberam esmalte sintético, o forro placas de PVC e o piso placas vinílicas. Nessa primeira medição, utilizando apenas o detector eletroquímico de formaldeído, as medições foram realizadas nas salas com os funcionários e estagiários trabalhando no local. Primeiramente foram medidos todos os ambientes com as janelas fechadas e na sequência com as janelas abertas, porém com as portas internas fechadas. Foi realizada apenas uma medição por sala para evitar que os ocupantes fossem expostos por longo tempo.

Novas medições foram realizadas nas salas do SCIH em novembro de 2014, com aproximadamente 60 dias de utilização das salas (30 dias após a primeira medição), desta vez em um final de semana e durante dois dias, sem a presença de funcionários, para que pudessem ser realizadas mais de uma medição em cada sala com as janelas fechadas. Primeiramente as medições foram realizadas com detector eletroquímico domiciliar de formaldeído e posteriormente com tubos colorimétricos.

Posteriormente às medições realizadas em ambientes caracterizados pela utilização de mobiliário ou de sistema construtivo utilizando madeira composta foi realizado experimento em um lavabo de uma residência em Curitiba com área de 1,50 m<sup>2</sup>. No lavabo foram fechados o ralo, o vaso sanitário e a válvula do lavatório com o objetivo de impedir a entrada de gases resultantes do esgoto o que poderia influenciar na detecção da emissão do formaldeído. Foi colocada nesse ambiente uma chapa de MDF cru com 15 mm de espessura e área de 1,0 m<sup>2</sup>. As medidas foram realizadas com detector eletroquímico de formaldeído e com tubos colorimétricos. A medição seria executada com a bomba da marca MSA AUER, porém verificou-se durante o teste de estanqueidade da bomba, efetuado antes de toda a medição, que a bomba apresentava vazamento. Em substituição à bomba no experimento do lavabo foi utilizado aspirador de pó portátil onde os tubos colorimétricos foram embutidos em rolha cortada na medida do bico do aspirador e selada com fita adesiva. A medição no lavabo com os tubos colorimétricos aspirados por aspirador manual foi realizada em

abril de 2015. A chapa de MDF havia sido colocada no lavabo havia duas semanas. O lavabo permaneceu com a porta e janela fechadas durante esse período.

#### 3.1.4. Experimento com diluições em um aquário

Foram realizados experimentos exploratórios em um aquário com objetivo de confirmar a exatidão do detector eletroquímico de formaldeído. No aquário foram colocadas diluições previamente preparadas de formaldeído. Com a utilização de micropipeta com precisão de 20 a 200  $\mu\text{l}$  para medir 0,05 mL (50  $\mu\text{l}$ , equivalente a 1 gota) de solução de formaldeído VETEC, encontrada no comércio local e cuja concentração entre 36,5 % e 38 % e densidade média de 1,09 g foram fornecidas pelo fabricante. Para fins de cálculo foi adotada a média da concentração 37,25 %. A diluição foi colocada no aquário junto com o medidor eletroquímico de formaldeído e o aquário foi tampado imediatamente para evitar a fuga do formaldeído.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos vários experimentos utilizando detector eletroquímico domiciliar de formaldeído e tubos colorimétricos de duas marcas estão apresentados a seguir

### 4.1. Medidas realizadas com tubos colorimétricos MSA AUER

Na primeira medida efetuada no escritório verde, onde foram utilizados apenas tubos colorimétricos da marca MSA AUER, não houve alteração na cor dos tubos colorimétricos o que indicou que não havia presença de formaldeído em quantidade que poderia ser detectada pelo tubo colorimétrico.

Na medida da concentração de formaldeído realizada no laboratório de anatomia patológica com tubos colorimétricos, os tubos apresentaram comportamentos distintos. Antes da diluição do formaldeído o tubo colorimétrico apresentou algo como um anel entre 1 e 2 ppm (Figura 1). Durante e após a diluição os tubos não apresentaram alteração alguma na sua coloração. Em contato com o fabricante do tubo colorimétrico MSA AUER, as respostas referentes aos resultados não trouxeram qualquer informação ao ocorrido, a não ser a possibilidade de ter havido alguma interferência de outro poluente presente no ambiente.



Figura 1- Mancha vermelha no tubo MSA AUER.

Em virtude dos resultados obtidos com os tubos colorimétricos da marca MSA AUER e da resposta do fabricante dos tubos, foram adquiridos tubos colorimétricos de outro fabricante assim como medidor eletroquímico domiciliar de formaldeído para prosseguir os experimentos.

### 4.2. Medidas realizadas com tubos colorimétricos de duas marcas e detector eletroquímico de formaldeído simultaneamente

A primeira medição utilizando simultaneamente tubos colorimétricos das duas marcas e medidor eletroquímico foi realizada na sala de aula do escritório verde.

Na medida realizada com tubo colorimétrico de ambas as marcas, com as janelas fechadas, os tubos permaneceram inalterados. Com a utilização do medidor eletroquímico domiciliar de formaldeído, com as janelas fechadas, o equipamento detectou 0,08  $\text{mg}/\text{m}^3$  de formaldeído. Posteriormente foram abertas as janelas superiores da sala de aula, essas janelas costumam permanecer abertas durante a utilização das salas. Constatou-se que o nível de formaldeído diminuiu para 0,05  $\text{mg}/\text{m}^3$ , ou seja, uma diminuição aproximada de 37 %. Constatamos também que a concentração externa de formaldeído de 0,02  $\text{mg}/\text{m}^3$ , ficou bem abaixo da concentração interna, o que confirma o conteúdo dos artigos científicos pesquisados (ZHANG *et al.*, 1994; BAEZ *et al.*, 2003, *apud* HANOUNE *et al.* 2006.; MARCHAND *et al.*, 2006), onde os valores de formaldeído no interior das edificações são maiores que os valores medidos no exterior dessas mesmas edificações (Figura 2).



Figura 2 – Medidas no escritório verde com as janelas fechadas, abertas e no exterior

No laboratório de anatomia patológica utilizando simultaneamente tubos colorimétricos das duas marcas, e detector eletroquímico de formaldeído. O resultado no detector eletroquímico de formaldeído de  $0,83 \text{ mg/m}^3$  (Figura 3), confirmou a presença de formaldeído em quantidade elevada, conforme era esperado. Utilizando os tubos colorimétricos, novamente o resultado foi negativo, ou seja, não houve alteração de cor nos tubos.



Figura 3- Resultado da medição de formaldeído no laboratório de anatomia patológica com detector eletroquímico, e com tubos colorimétricos

Na sala administrativa do SCIH, onde há a maior concentração de mobiliário em MDF, o equipamento detectou concentração de  $1,41 \text{ mg/m}^3$  com as janelas fechadas. Posteriormente foram abertas as janelas e o nível baixou rapidamente para  $0,07 \text{ mg/m}^3$  com uma redução aproximada de 95 % (Figura 4).



Figura 4 - Medição da sala administrativa do SCIH antes e após a abertura das janelas.

A sala de reuniões, com mobiliário antigo em madeira maciça, o equipamento detectou concentração de formaldeído em  $0,75 \text{ mg/m}^3$  com as janelas fechadas. Com as janelas abertas a redução do nível de formaldeído foi de aproximadamente 95 %, passando a  $0,04 \text{ mg/m}^3$ . Por último foi realizada medição na sala da secretaria, devido a essa sala não possuir ventilação direta, e para ventilá-la é necessário que as janelas e as portas das outras duas salas estejam abertas. O equipamento detectou concentração de formaldeído em  $0,82 \text{ mg/m}^3$ . Após a abertura das portas internas e das janelas das salas de reunião e administrativa a redução do nível de formaldeído foi de aproximadamente 93 %, passando a  $0,06 \text{ mg/m}^3$ .

O resultado das medições efetuadas trinta dias após a primeira medição nas salas do SCIH com as janelas fechadas e com as janelas abertas estão indicados na Tabela 1. As medições realizadas com tubos colorimétricos de ambas as marcas não detectaram a presença de formaldeído nas salas pesquisadas.

Tabela 1 – Resultado das medições das salas administrativa, de reuniões e secretaria do SCIH

Medição	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup> com janelas			Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup> com janelas		
	Sala administrativa	Sala de reuniões	Secretaria	Sala administrativa	Sala de reuniões	Secretaria
1°	0,47	0,26	0,31	0,18	0,07	0,10
2°	0,56	0,41	0,38	0,11	0,06	0,10
3°	0,58	0,41	0,39	0,13	0,06	0,11
4°	0,61	0,38	0,40	0,12	0,06	0,09
5°	0,63	0,39	0,35	0,13	0,07	0,09
6°	0,62	0,37	0,30	0,13	0,07	0,08
7°	0,66	0,37	0,29	0,13	0,06	0,09

As medições efetuadas com o detector eletroquímico de formaldeído confirmam o contido na revisão bibliográfica com relação à presença de formaldeído em maior concentração em ambientes que utilizam o produto e em ambientes recém reformados ou que possuam mobiliário em madeira composta como aconteceu respectivamente no laboratório de anatomia patológica e no ambiente recém reformado e com mobiliário novo em MDF do SCIH. A bibliografia também menciona a diminuição da concentração ao longo do tempo de utilização dos ambientes, comprovado com a menor concentração na sala de aula do campus universitário construído em *wood frame* há três anos e que estava dentro dos limites estabelecidos pela OMS. Em ambos os ambientes a concentração do formaldeído diminuiu sensivelmente com a ventilação do ambiente pesquisado.

A ausência de detecção de formaldeído com a utilização dos tubos colorimétricos de dois fabricantes na sala de aula poderia indicar que os tubos colorimétricos não detectam faixas inferiores a 0,1 ppm ou 0,125 mg/m<sup>3</sup>, valores que não foram alcançados em nenhuma das medições realizadas nas salas de aula, porém ao não indicarem a presença de formaldeído no laboratório de anatomia patológica com a diluição do formaldeído, e também nas salas recém reformadas do SCIH ou no ambiente residencial com a chapa de MDF, podem indicar que ao contrário da informação do fabricante os tubos não são sensíveis para valores do poluente inferiores a 1 ppm. Nos experimentos com os tubos colorimétricos não foi confirmado o contido na pesquisa bibliográfica

### 4.3. Experimento com chapa de MDF

No experimento com chapa de MDF cru, ao colocar o detector no lavabo imediatamente indica valor de 0,57 mg/m<sup>3</sup>. Com a abertura da janela, rapidamente o valor detectado diminuiu exatamente como nos experimentos anteriores, atingindo 0,02 mg/m<sup>3</sup> (Figura 5).



Figura 5 - Resultado da medição em lavabo com a janela fechada e aberta

Nas medições com tubos das marcas RAE Systems e MSA AUER, e utilizando sucção com aspirador de pó manual não houve alteração na cor dos tubos, apesar do detector de formaldeído indicar 0,45 mg/m<sup>3</sup> (Figura 6).

No experimento com a chapa de MDF em pequeno ambiente residencial a concentração elevada também era esperada, considerando que no ambiente o odor característico do formaldeído era rapidamente percebido, e comprovando o contido na revisão bibliográfica.





Figura 6 – Resultado das medições com tubos colorimétricos e eletroquímica no lavabo onde foi colocado uma chapa de MDF cru

#### 4.4. Experimento com diluições de formol em um aquário

No aquário com volume de 0,00754 m<sup>3</sup> colocou-se 0,05 mg da solução de formaldeído. Considerando que a solução de formaldeído utilizada a 37,25 % tinha sido diluída na proporção de 12 litros de formaldeído para 114 litros de água, e que todo o formaldeído evapora juntamente com a gota, teríamos 284,2 mg/m<sup>3</sup> de formaldeído diluído no aquário. Ao fazer a medição por cinco vezes foi constatado que o limite do detector eletroquímico domiciliar é 2,49 mg/m<sup>3</sup>, e quando se chega neste valor o equipamento zera automaticamente.

Novo experimento iniciou com a diluição de 0,05 ml da solução de formaldeído a 37,25 % em 500 ml de água (solução n° 1). A solução n°1 foi diluída tomando-se 0,05 ml da solução n°1 e diluindo em 500 ml de água, resultando a diluição n°1. Foi feita nova solução diluindo 0,10 ml de solução de formaldeído em 500 ml de água resultando a solução n°2. A terceira solução foi obtida diluindo 0,15 ml de formaldeído em 500 ml de água. Após as diluições concluídas, colocou-se 0,05 ml de cada uma das soluções assim como da diluição no aquário fechado e feitas as medições da concentração de formaldeído dentro do aquário após a evaporação total da gota. Repetido o experimento para todas as soluções e para a diluição. A ordem de colocação das gotas foi da menor para a maior concentração, para evitar que resíduos de uma grande concentração atrapalhe a próxima medição. O experimento foi repetido três dias depois, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Valores da concentração de formaldeído em aquário medidos comparados aos valores calculados

Quantidade de solução colocada no aquário	Valor medido em 08/04/2015 (mg/m <sup>3</sup> )	Valor medido em 11/04/2015 (mg/m <sup>3</sup> )	Valor calculado(mg/m <sup>3</sup> )
Diluição n°1 (0,05ml)	0,07	0,12	2,68 x 10 <sup>-5</sup>
Solução n°1 (0,05ml)	0,17	0,16	0,27
Solução n°2 (0,05ml)	0,54	0,22	0,54
Solução n°3 (0,05ml)	0,48	0,31	0,81
Solução n°1 (0,10ml)	-----	0,43	1,62

Com relação aos experimentos para verificação da precisão do detector eletroquímico de formaldeído, não foi comprovada sua precisão, apenas que detecta a presença do poluente e que ao ventilar o ambiente em todas as medições realizadas bem como nos experimentos no aquário os valores diminuem sensivelmente.

#### 4.5. Medidas mitigadoras

A presença de formaldeído nos ambientes pesquisados leva à necessidade de medidas mitigadoras, entre as quais pode-se apontar a substituição de mobiliário de madeira composta por mobiliário em madeira maciça certificada. Os selos de maior reconhecimento são o *Forest Stewardship Council* (FSC) e o Programa Nacional de Certificação Florestal (Cerflor), endossado pelo sistema internacional *Programme for the Endorsement of Forest Certification Systems* (PEFC). Do total de hectares de árvores plantadas no Brasil, 63% são certificados por essas entidades (IBÁ, 2015). Também recomenda-se a utilização de materiais de construção garantidamente sem compostos orgânicos voláteis, em especial formaldeído, em sua composição.

Segundo Hodgson *et al.*(2002), práticas de custo relativamente baixo podem ser implementadas durante a construção para melhorar a qualidade do ar interior. São destinadas a reduzir emissões de formaldeído, aldeídos e terpenos de produtos de madeira usados para armários, portas e revestimento de paredes e pisos. Incluem aplicação de um material, como por exemplo, laminado melamínico em todas as superfícies de materiais confeccionados em madeira composta.

Uma das medidas mitigadoras nos locais onde o mobiliário foi confeccionado em madeira composta e não há como substituí-lo é a manutenção das janelas abertas (frestas, sem comprometer o conforto térmico),

e se possível que as mesmas sejam abertas antes do início do expediente de trabalho ou que sejam constituídas por material que permita a ventilação independente da condição meteorológica do ambiente exterior. Alves e Acioli (2012) recomendam que mobiliário e materiais novos em madeira prensada, que podem ser removidos (prateleiras, mesas, escrivaninhas, gavetas), devem ser retirados das salas e levados a um local bem ventilado, onde devem permanecer por 2 a 3 semanas, com objetivo de acelerar a fase inicial de desgaseificação, com isso o pico das emissões ocorrerá quando os materiais estiverem afastados.

## 5. CONCLUSÕES

As medidas realizadas com detector eletroquímico domiciliar de formaldeído indicam sua presença nos locais onde há mobiliário em madeira composta, ou em locais recentemente reformados. Indica a diminuição da concentração desse poluente com o passar do tempo e com a ventilação dos ambientes. Os resultados obtidos tornam o equipamento recomendável para uso por profissionais das áreas da construção civil e de decoração, para avaliar a qualidade dos materiais utilizados nas obras em relação à emissão de formaldeído.

Quanto aos tubos colorimétricos, nos ambientes interiores pesquisados, não houve a detecção de formaldeído mesmo em locais sabidamente com altos índices desse poluente, e são necessárias novas pesquisas para explicar porque os detectores de ambas as marcas não indicam a presença do poluente.

Medidas mitigadoras são necessárias para reduzir os índices de morbidade e de doenças ocasionadas pela exposição ao formaldeído, reduzindo consequentemente perda de dias de trabalho, custos com saúde pública e com pagamento de aposentadorias precoces.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABADIE, M. O.; BLONDEAU, P. PANDORA database: A compilation of indoor air pollutant emissions. **HVAC & R Research** 17:04, 602-613, ago. 2011.
- ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Quim. Nova**, vol. 35, nº 10, 2025-2039, ago. 2012.
- BERNSTEIN, J. A. et al. The health effects of nonindustrial indoor air pollution. **Journal of Allergy and Clin Immunol** Vol. 121, n 3, mar. 2008.
- BORAN, S.; USTA, M.; GÜMÜSKAYA, E. Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. **Int. Journal of Adhesion & Adhesives** 31 674–678, jun. 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Caderno de Atenção Básica. Doenças Respiratórias Crônicas. Brasília, 2010. Acesso em: 6 abr. 2013. [http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/doencas\\_respiratorias\\_cronicas.pdf](http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf)
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução N 9 de 16 de janeiro de 2003.
- DANNEMILLER, K. C. et al. Formaldehyde concentrations in household air of asthma patients determined using colorimetric detector tubes. **Indoor Air**, 23 (4), 285-94, jan. 2013.
- GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Química Nova**, v. 26 n 03, set./out. 2003.
- HODGSON, A. T.; BEAL, D.; MCILVAINE, J. E. R. Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. **Indoor Air**; 12: 235–242. 2002.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Acesso em: 02 abr. 2015. <http://www.iba.org/web/pt/midia/volume-das-exportacoes-de-celulose-paineis-de-madeira-e-papel-registra-alta-no-primeiro-semester-de-2014.htm>.
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans**. <http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2004/pr153.html> . Acesso em: 6 abr. 2013
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA (INMETRO). **Qualidade do Ar em Estabelecimentos de Uso Público e Coletivo**. Acesso em: 29 mar. 2013. <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/qualidadedoAr.asp>
- MARCHAND, C. et al. Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg (France). **Atmospheric Environment**, n.40, p.1336-1345, mar. 2006.
- MARIANO, S. et al. Colorimetric detection of formaldehyde: a sensor for air quality measurements and a pollution-warning kit for homes. **Procedia Engineering**, n. 5, p.1184–1187, set. 2010.
- PINTO, M; FREITAS, V. P.; VIEGAS, J. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO. **Engenharia e Vida** n.38, set. 2007.
- PORTUGAL. **Qualidade do Ar em Espaços Interiores**. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Agência Portuguesa do Ambiente e Laboratório Referência do Ambiente. Janeiro de 2009.
- SALTHAMMER, T.; MENTESE, S.; MARUTZKY, R. Formaldehyde in the Indoor Environment. **American Chemical Society**, Chem Rev.n. 110, p. 2536-2572, abr.2010.
- SCHIRMER, W. N. et al. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, n.6, p.3583-3590, ago. 2011.
- TANG, X. et al. Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects **Environment International**, n. 35, p. 1210–1224, jul. 2009.
- WIESLANDER, G. et al. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. **International Archives of Occupational Environmental Health**, n. 69 , v. 2, p. 115-124, 1997.
- ZHANG, L. et al. Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms. **Mutation Research**, v. 68, p. 150–168, mar./jun. 2009.