

Herminia Dallegrave Bonfim Breginski

**QUALIDADE DO AR: ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DE FORMALDEÍDO**

Curitiba 2015

Herminia Dallegrave Bonfim Breginski

## **QUALIDADE DO AR: ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DE FORMALDEÍDO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração Ambiente Construído e Gestão, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Aloísio Leoni Schmid

Curitiba 2015

---

B833q

Breginski, Herminia Dallegrave Bonfim  
Qualidade do ar : estudo sobre a presença de formaldeído/ Herminia  
Dallegrave Bonfim Breginski. – Curitiba, 2015.  
124 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, 2015.

Orientador: Aloísio Leoni Schmid .  
Bibliografia: p. 117-124.

1. Formaldeído. 2. Poluição do ar de interiores. 3. Madeira aglomerada. 4.  
Legislação e saúde. I. Universidade Federal do Paraná. II.Schmid, Aloísio  
Leoni. III. Título.

CDD: 577.276

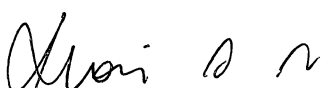
---

## TERMO DE APROVAÇÃO

HERMINIA DALLEGRAVE BONFIM BREGINSKI

### QUALIDADE DO AR: ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DE FORMALDEÍDO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ing. Aloísio Leoni Schmid  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil - UFPR

Examinador:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. George Stanescu  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil - UFPR

Examinador:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Gilberto Abate  
Departamento de Química - UFPR

Curitiba, 20 de Maio de 2015.

**Aos meus filhos Rodrigo e Tatiane  
e à memória dos meus pais  
Amilton e Herminia.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Federal do Paraná (UFPR), onde conclui a graduação em engenharia civil e que mais uma vez é a instituição que possibilitou a oportunidade de evolução do conhecimento científico.

Aos colegas da Prefeitura da Cidade Universitária (PCU), especialmente o pessoal do setor de engenharia civil por me indicarem o caminho das pedras.

Ao Serviço de Controle de Infecção Hospitalar, Farmácia Hospitalar, Laboratório de Micologia e Laboratório de Anatomia Patológica, do Hospital de Clínicas da UFPR (HC/UFPR) que dispuseram espaço, equipamentos e materiais que possibilitaram a realização das medições e dos experimentos.

À professora Tânia Bordin Bonfim do Laboratório de Enzimologia e Tecnologia das Fermentações da UFPR por ceder seu tempo e equipamentos de laboratório para essa pesquisa.

À Luciana Barreto Adad, do Laboratório de Madeira e Móveis do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), pelo apoio e pela gentileza em ceder o seu tempo, conhecimento e a estrutura do laboratório para essa pesquisa.

Aos colegas da Direção Administrativa e da Unidade de Infraestrutura do HC/UFPR, em especial ao pessoal da Supervisão de Projetos e Obras pela compreensão nos momentos em que estive ausente do trabalho para me dedicar ao mestrado.

Ao meu orientador Aloísio Leoni Schmid e aos professores Sérgio Tavares, Gilberto Abate, Eloy Casagrande Jr. e George Stanescu pelo incentivo e pela contribuição acadêmica.

Aos colegas do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC), em especial ao pessoal do “Ambiente Construído”, pela amizade, apoio, incentivo e troca de experiência.

Ao Ciro, pelo incentivo e companheirismo de mais de trinta anos.

Aos meus amores, Rodrigo e Tatiane, minhas fontes de energia para nunca desistir.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desse trabalho.

## RESUMO

Câncer e doenças respiratórias como alergias e asma têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, 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. 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, de caráter exploratório, buscou verificar a eficiência de métodos que fossem de técnica simples, rápida, barata e com resultado imediato sem a necessidade de análise em laboratório para medida da concentração de formaldeído no ambiente, principalmente nos locais onde haja presença de madeira composta. Foram utilizados tubos colorimétricos e detector eletroquímico de formaldeído para medida desses ambientes. Foram medidas uma sala de aula construída em *wood frame*, salas administrativas recém reformadas e com grande quantidade de mobiliário novo em MDF e um ambiente residencial, onde foi colocado uma placa de MDF. Foram realizados experimentos em um aquário com diluição do formaldeído e medições com detector eletroquímico. Também foi realizado experimento com peças de madeira composta, com relação a presença de formaldeído, através do método do dessecador e com o detector eletroquímico de formaldeído. Além dos experimentos exploratórios o presente trabalho apresenta revisão bibliográfica a respeito do formaldeído no ar ambiente, limites para o formaldeído no ambiente interior de vários países e legislação para emissão máxima de formaldeído de madeira composta. Como resultado dessa pesquisa foram originadas recomendações de medidas para reduzir a contaminação do ar por formaldeído, proposta adoção de legislação para produtores e importadores de painéis e materiais de construção e de decoração que utilizem madeira composta assim como reformulação da NR 15 no que se refere aos limites de exposição do trabalhador ao formaldeído.

**Palavras chave:** Formaldeído. Ar interior. Madeiras compostas. Legislação.

## ABSTRACT

*Cancer and Respiratory diseases such as allergies and asthma have increased considerably in recent years due to poor air quality inside homes, schools, offices and other environments where adults and children spend most of their time. Among indoor air contaminants formaldehyde is the most abundant, present in large quantities in the construction and decoration materials, especially those consisting of composite wood. As Brazil does not have standards for maximum levels of formaldehyde emissions in non-industrial indoor environment, formaldehyde emissions from building and decoration materials are not monitored. This study aimed to verify the efficiency of methods that would be simple, fast and cheap technique with immediate result without the need for laboratory analysis to measure the formaldehyde concentration in the indoor environment, especially where there is presence composite wood. In this research, with the use of colorimetric tubes and formaldehyde electrochemical detector were measured one classroom of an university built in wood frame, newly renovated administrative offices of a university hospital where there was loads of new furniture in MDF and a residential environment, where it was placed MDF board. Experiments were also conducted in an aquarium which was placed diluted formaldehyde with various concentrations and measurements were made with formaldehyde electrochemical detector. In addition to the exploratory experiments this dissertation presents comprehensive literature review regarding formaldehyde in ambient air, limits for formaldehyde in the indoor environment from various countries and legislation to maximum formaldehyde emission composite wood. As result of this research, recommendations were originated to reduce air contamination by formaldehyde, proposal to adopt specific legislation for producers and importers of panels and building materials and decoration using wood composite as well as proposal to revise the NR 15 regarding to the insalubrity of the worker exposed to formaldehyde.*

*Keywords: Formaldehyde; indoor air; wood composite; legislation.*



## LISTA FIGURAS

Figura 1- Fórmula estrutural do formaldeído. ....	35
Figura 2- Limites de exposição ao formaldeído no ambiente interior de residências de vários países, e limite estabelecido pela OMS. ....	46
Figura 3 - Chapa de MDP e MDF.....	57
Figura 4 - Chapas de OSB. ....	59
Figura 5 - Chapa dura ( <i>hardboard</i> ).....	60
Figura 6 - Chapas de compensado. ....	61
Figura 7- Tubo colorimétrico e bomba marca MSA AUER. ....	82
Figura 8- Tubo colorimétrico marca RAE Systems.....	83
Figura 9 – Detector eletroquímico de formaldeído. ....	84
Figura 10 – Termo-higrômetro digital Minipa MTH 1360 e micropipeta LAB MATE com capacidade entre 20 e 200 µl.....	85
Figura 11 - Espectrofotômetro marca Perkin Elmer. ....	86
Figura 12 – Anel vermelho no tubo MSA AUER durante medição em laboratório de Anatomia Patológica.....	89
Figura 13 – Detecção da concentração de formaldeído em laboratório de Anatomia Patológica durante a diluição de 12 litros de formaldeído em 114 litros de água. ....	89
Figura 14- Interior do escritório verde com estrutura em <i>wood frame</i> . ....	91
Figura 15 - Concentração de formaldeído no ambiente exterior menor que no ambiente interior. ....	92

Figura 16 - Valor obtido pelo detector eletroquímico de formaldeído antes e depois da ventilação do Escritório Verde. ....	93
Figura 17 – Medida de formaldeído no laboratório de anatomia patológica. ....	94
Figura 18 - Tubos colorimétricos MSA AUER e RAE Systems após a medida em laboratório de anatomia patológica: sem alteração da cor. ....	95
Figura 19 – Sala administrativa reformada e com mobiliário novo em MDF. ....	96
Figura 20 – Sala de reuniões com mobiliário antigo em madeira. ....	97
Figura 21 – Secretaria com escrivaninha e armário novos em MDF. ....	98
Figura 22 – 2ª detecção realizada na sala administrativa sem a presença dos funcionários e com as janelas fechadas no dia anterior ao da medição. ....	100
Figura 23 - Tubos colorimétricos MSA AUER e RAE Systems após a medida na sala administrativa do SCIH: sem alteração da cor. ....	104
Figura 24 – Medida do ar com a janela e porta fechadas, antes da colocação do painel e após 2h. ....	106
Figura 25- Valor medido com a janela aberta. ....	107
Figura 26 – Tubo colorimétrico com aspirador de pó portátil utilizado como bomba de sucção ....	109
Figura 27 – Experimento no aquário e valor máximo medido pelo detector eletroquímico de formaldeído antes de zerar o equipamento. ....	110
Figura 28-Instalação do dessecador com o medidor eletroquímico de formaldeído	114
Figura 29- Balões com amostras em banho maria. ....	115
Figura 30 - Nove corpos de prova de OSB colocados no dessecador junto com o detector eletroquímico de formaldeído. Valor detectado após 24h de repouso	116

Figura 31 - Experimento com nove corpos de prova de compensado. O detector eletroquímico de formaldeído atinge o valor máximo e zera em seguida. ....117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Padrões de emissão de formaldeído nas fases 1 e 2 estabelecidos pela ATCM, baseado no método de teste inicial [ASTM E 1333-96(2002)] em partes por milhão (ppm). HWPW-VC = base chapeada; HWPW-CC = base composta.....	48
Tabela 2- Classificação de emissão de formaldeído em painéis de madeira reconstituída no Brasil, Comunidade Europeia (CE) e Japão. ....	56
Tabela 3 - Resultado das primeiras medições de formaldeído utilizando tubos colorimétricos da marca MSA AUER.....	90
Tabela 4 - Resultado das medições da sala administrativa do SCIH com as janelas fechadas.....	101
Tabela 5- Resultado das medições da sala de reuniões do SCIH com as janelas fechadas.....	101
Tabela 6- Resultado das medições da secretaria do SCIH com as portas fechadas .....	102
Tabela 7 - Sala administrativa do SCIH com as janelas abertas.....	102
Tabela 8 - Sala de reuniões do SCIH com as janelas abertas .....	103
Tabela 9 – Secretaria do SCIH com as portas abertas .....	103
Tabela 10 – Medição no lavabo com detector eletroquímico onde foi colocado um painel de MDF .....	108
Tabela 11- Valores da concentração de formaldeído em aquário medido em 08/04/2015 e 11/04/2015, comparados aos valores calculados.....	111
Tabela 12- Valores da concentração de formaldeído em aquário medido em 13/04/2015 comparados aos valores calculados.....	112
Tabela 13 - Classificação segundo a norma JIS A 5905 – 1994 .....	116

## LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

ABIPA	- Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ANSES	- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AIH	- Autorização de Internação Hospitalar
AIRMEX	- European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment
ANVISA	- Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APA	- Associação Portuguesa do Ambiente
ASHRAE Engineers	- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
ATCM	- <i>Airborne Toxic Control Measure</i>
ATSDR	- Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BFR	- Bundesinstitut für Risikobewertung
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAS	- Chemical Abstracts Service
CDC	- Centers for Disease Control and Prevention
CLAE	- Cromatografia líquida de alto desempenho
COMEAP	- Committee on the Medical Effects of Air Pollutants
COV	- Compostos Orgânicos Voláteis
DATASUS	- Departamento de Informação do Sistema Único de Saúde do Brasil
DNPH	- Dinitrofenilhidrazina
DPOC	- Doença pulmonar obstrutiva crônica
DRC	- Doenças respiratórias crônicas
EGP	- <i>Edge Glued Panels</i>
EPA	- Environmental Protection Agency
EPI	- Equipamento de proteção individual
EUA	- Estados Unidos da América
FEMA	- <i>Federal Emergency Management Agency</i>
HC/UFPR	- Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná
HWPW	- <i>Hardwood plywood</i>
HDF	- Placa de fibra de alta densidade
IARQ	- International Agency for Research on Cancer
IBÁ	- Indústria Brasileira de Árvores
INCA	- Instituto Nacional do Câncer
INMETRO	- Instituto de Metrologia
ISO	- International Organization for Standardization
IUPAC	- International Union of Pure and Applied Chemistry

LQAI	- Laboratório da Qualidade do Ar Interior da Universidade do Porto
LVL	- <i>Laminated Veneer Lumber</i>
MDF	- Medium Density Fiberboard
MDP	- Medium Density Particleboard
MS	- Ministério da Saúde
MUF	- Melamina-ureia-formaldeído
MUPF	- Melamina-ureia- fenol-formaldeído
NIOSH	- National Institute for Occupational Safety and Health
NOAEL	- No observable adverse effect level
NR	- Norma Regulamentadora
OSHA	- Occupational Safety and Health Administration
OMS	- Organização Mundial da Saúde
OSB	- Oriented Strand Board
PAI	- Poluição do Ar Interior
PANDORA	- comPILatioN of inDOor aiR pollutAnt emitions
PB	- <i>Particleboard</i>
PBQP-H	- Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PF	- Fenol - formaldeído
PIB	- Produto Interno Bruto
PMDI	- Polimetil-polifenil-isocianato
PPB	- Partes por bilhão
PPM	- Partes por milhão
PPGECC	- Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil
QAI	- Qualidade do Ar Interior
RDC	- Resolução de Diretoria Colegiada
RIOPA	- Relation ships of indoor, outdoor, and personal air
SCIH	- Serviço de Controle de Infecção Hospitalar
SED	- Síndrome dos Edifícios Doentes
SIOPS	- Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde
SUS	- Sistema Único de Saúde
TECPAR	- Instituto de Tecnologia do Paraná
UF	- Ureia - formaldeído
UV	- Ultra - Violeta

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	PROBLEMA .....	17
1.2	OBJETIVO.....	18
1.3	JUSTIFICATIVAS .....	19
1.3.1	AMBIENTAL.....	19
1.3.2	SOCIAL .....	20
1.3.3	ECONÔMICA .....	21
1.3.4	TECNOLÓGICA .....	23
1.4	CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA .....	24
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>27</b>
2.1	HISTÓRICO .....	28
2.2	QUALIDADE DO AR INTERIOR .....	30
2.3	EDIFÍCIOS DOENTES .....	32
2.4	COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS .....	33
2.5	FORMALDEÍDO .....	34
2.5.1	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	38
2.6	INFLUÊNCIAS EXTERNAS NA EMISSÃO DE FORMALDEÍDO .....	39
2.7	UTILIZAÇÃO DO FORMALDEÍDO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	40
2.8	FONTES DE FORMALDEÍDO EM UMA CONSTRUÇÃO NOVA .....	41

2.9	LIMITES DE FORMALDEÍDO E LEGISLAÇÃO .....	44
2.10	MADEIRAS COMPOSTAS .....	52
2.10.1	PAINÉIS DE MADEIRA NO BRASIL.....	54
2.10.2	AGLOMERADO E MDP .....	57
2.10.3	MDF .....	58
2.10.4	OSB .....	58
2.10.5	CHAPA DE FIBRA .....	59
2.10.6	COMPENSADO .....	60
2.11	FORMALDEÍDO EM ESCOLAS .....	62
2.12	MÉTODOS PARA AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE FORMALDEÍDO.....	64
2.12.1	SISTEMAS PASSIVOS DE MONITORAMENTO .....	66
2.12.2	SISTEMAS ATIVOS DE MONITORAMENTO .....	68
2.12.2.1	MONITOR ELETROQUÍMICO.....	68
2.12.2.2	MÉTODO DO BORBULHADOR.....	69
2.12.3	ANALISADORES AUTOMÁTICOS (SENSORES) .....	69
2.12.4	TUBOS COLORIMÉTRICOS .....	71
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>72</b>
3.1	ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	72
3.1.1	UNIDADE DE ANÁLISE .....	73
3.1.2	TESTES DE VALIDADE .....	74



3.1.2.1	VALIDADE DO CONSTRUCTO.....	74
3.1.2.2	VALIDADE INTERNA .....	75
3.1.2.3	VALIDADE EXTERNA .....	76
3.1.2.4	CONFIABILIDADE .....	77
3.1.2.5	RASTREABILIDADE .....	77
3.1.3	SELEÇÃO DOS ESPAÇOS.....	78
3.2	PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS .....	79
3.3	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	81
3.4	EXPERIMENTOS.....	86
3.4.1	EXPERIMENTOS COM CHAPA DE MDF .....	105
3.4.2	EXPERIMENTOS COM DILUIÇÕES NO AQUÁRIO.....	109
3.4.3	EXPERIMENTOS COM PEÇAS DE MDF, OSB E COMPENSADO .....	112
3.5	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	118
<b>4</b>	<b>MEDIDAS MITIGADORAS.....</b>	<b>121</b>
<b>5</b>	<b>PROPOSTA DE LEGISLAÇÃO PARA O BRASIL .....</b>	<b>122</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>124</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>125</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>

## 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.

De acordo com Koistinen *et al.* (2008), enquanto diretrizes e normas de qualidade do ar são amplamente utilizadas em gestão da qualidade do ar exterior, sistemática com base científica está faltando para a qualidade do ar interior (QAI). Ainda, segundo o autor, a gestão da QAI requer diferentes abordagens às que vigoram para o ar exterior.

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 grupos responsáveis pela contaminação do ar nos ambientes internos<sup>1</sup>.

Em edifícios novos ou recém-reformados, os índices de concentração de COV são elevados, e as principais fontes desses compostos são materiais

---

<sup>1</sup> [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas\\_respiratorias\\_cronicas.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf) , abril 2013

de construção, e de decoração, principalmente madeiras compostas, tintas, vernizes e mobiliário.

Embora existam numerosos estudos em que foram medidas as taxas de COV no interior das edificações, as concentrações foram avaliadas em edifícios recém-construídos ou recém-reformados. Pouco é conhecido sobre o comportamento desses compostos nas mesmas construções após certo período (JÄRNSTRÖM *et al.*, 2006).

O formaldeído é um dos mais estudados poluentes do ambiente interior, uma vez que foi classificado no Grupo 1 (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.

O presente trabalho, de caráter exploratório, tem por objetivo realizar uma abrangente revisão bibliográfica a respeito de formaldeído no ar ambiente, assim como verificar a quantidade de formaldeído no ambiente interior, através da utilização de técnicas de medição rápidas, de baixo custo e com resultado imediato, através da utilização de tubos colorimétricos e detector eletroquímico.

A partir do resultado das medições, devem ser originadas recomendações sobre a necessidade de legislação específica que determine valores máximos de emissão de formaldeído em peças de mobiliário e materiais de revestimento, além de alertar para que o monitoramento contínuo de poluentes do ar em ambientes interiores públicos ou residenciais sejam incorporados à cultura da sociedade moderna.

## 1.1 PROBLEMA

O formaldeído é um agente reconhecidamente cancerígeno em humanos. De acordo com o Instituto Nacional do Câncer (INCA), em relação ao câncer, não há níveis seguros de exposição<sup>2</sup>.

Está presente nos materiais de construção, tintas, vernizes e colas, estas utilizadas para a fabricação de edificações do tipo *wood frame*, móveis e painéis decorativos, principalmente aqueles que utilizam madeira composta, os quais podem liberar formaldeído na atmosfera por longos períodos de tempo.

De acordo com Gioda e Aquino Neto (2003), no Brasil, a exposição a certas substâncias acontece pela existência de padrões permissíveis ou pela completa ausência de padrões. Compostos carcinogênicos não são regulamentados no Brasil e como a maioria dos compostos não foi submetido a todos os testes de toxicidade necessários é possível que, tanto no setor industrial quanto em ambientes interiores, estejamos expostos a uma carga mais elevada de poluentes que em países onde há padrões rígidos.

Como o Brasil não possui ainda padrões para quantidades máximas de emissões de formaldeído no ambiente interior não industrial, os materiais de construção e de decoração tais como tintas, vernizes, carpetes, placas de madeira composta não são fiscalizados com relação à emissão de formaldeído.

Para Alves e Aciole (2012), 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 voláteis. Perante a escassez de dados relacionados com a avaliação dos níveis de formaldeído em escolas brasileiras, acredita-se

---

<sup>2</sup> [http://www1.inca.gov.br/conteudo\\_view.asp?ID=795](http://www1.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=795), junho 2013

ser de fundamental relevância uma avaliação exaustiva desse poluente em ambientes escolares.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é uma avaliação de caráter exploratório dos níveis de exposição ao formaldeído em sala de aula de uma universidade construída em *wood frame*, em salas administrativas recém reformadas de um hospital universitário e em ambiente residencial, onde foi colocado uma placa de MDF (*medium density fiberboard*), adquirida no mercado local, todos localizados na cidade de Curitiba, utilizando equipamento portátil de sucção do ar através de tubos detectores e de equipamento eletroquímico de medição de formaldeído que possibilitam a detecção de formaldeído nos ambientes pesquisados imediatamente após a medição, sem a necessidade de análise do material em laboratório.

Além da pesquisa de campo, e até mesmo para dar-lhe consistência, é também objetivo desta pesquisa elaborar uma revisão bibliográfica buscando o estado da arte em poluição interior não industrial por formaldeído, suas causas e consequências à saúde, maneiras de detecção deste contaminante no ambiente interior e legislação em países que adotam valores limite para emissão de formaldeído de materiais que contenham na sua estrutura madeira composta.

A partir dos valores obtidos foram feitas comparações entre os dois métodos de medição com objetivo de verificar se os métodos aqui utilizados detectam a presença de formaldeído para valores inferiores ao mínimo recomendado pela OMS para esse importante poluente do ar interior.

Também foi elaborada proposta de legislação específica para compostos de madeira, com objetivo de reduzir a emissão deste contaminante do ar interior aos menores valores possíveis.

## 1.3 JUSTIFICATIVAS

### 1.3.1 Ambiental

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 áreas altamente industrializadas. Esse fato, juntamente com o tempo de permanência em ambientes internos, faz com que os riscos à saúde humana sejam maiores nesses locais (SCHIRMER *et al.*, 2011).

As concentrações de aldeídos nos interiores são geralmente de 2 a 10 vezes maiores do que nos exteriores (ZHANG *et al.*, 1994; BAEZ *et al.*, 2003, *apud* HANOUNE *et al.* 2006; MARCHAND *et al.*, 2006), indicando a presença de fontes internas significativas.

Segundo Andreini *et al.* (2000), um estudo realizado no noroeste de Milão para avaliação de aldeídos na atmosfera apontou o formaldeído como o aldeído mais abundante em todas as amostras, representando 50 % do total de concentrações dos aldeídos medidos. Também observaram que na maioria das amostras a exposição média diária ao ar livre de formaldeído era de no máximo 1 – 2 % da exposição humana total.

No âmbito do *European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment* (AIRMEX), entre 2003 e 2004, 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 (principalmente de formaldeído), foram obtidas nas salas em comparação com as medidas no exterior (KOTZIAS *et al.*, 2005).

A densidade de ocupação e de equipamentos e os materiais sintéticos de revestimento (tintas, vernizes e aglomerantes) estão na origem da elevada taxa de poluentes no interior dos edifícios modernos. Por esta razão, a

qualidade do ar interior é, na maioria dos casos, significativamente inferior à qualidade do ar exterior e, naturalmente, também inferior ao desejável (PINTO *et al.*, 2007).

As principais fontes de formaldeído no interior dos edifícios são as resinas utilizadas nos móveis de madeira composta e a combustão (cigarros, aparelhos de aquecimento e confecção de alimentos). Cerca de 90% ou mais das placas de madeira composta do mundo são produzidas com resina de ureia formaldeído (BORAN *et al.*, 2011).

### 1.3.2 Social

É desejável que o ar seja percebido como fresco e agradável, isto é, não tenha impacto negativo na saúde e estimule o trabalho e a atividade humana. A QAI em espaços de ocupação humana deve ser definida pelo seu efeito nos seres humanos: a QAI deve ser a medida para que as necessidades humanas sejam atendidas (FANGER, 2006).

Apesar da QAI ter surgido como ciência há poucas décadas, os efeitos negativos até o momento reconhecidos da poluição do ar de ambientes internos sobre a qualidade de vida de frequentadores e residentes de prédios, escritórios e residências possivelmente contaminados, indicam a necessidade da ampliação de estudos na área, de forma a garantir melhoria na saúde e bem-estar dos indivíduos, bem como a redução das taxas de mortalidade e morbidade associadas à poluição interna (GOMES e KUWAHARA, 2008).

De acordo com a OMS, existem atualmente no mundo cerca de 300 milhões de asmáticos, 210 milhões de pessoas acometidas pela DPOC e 100

milhões sofrem de distúrbio respiratório do sono.<sup>3</sup> As doenças alérgicas respiratórias (rinite e asma) crescem de forma gradativa, sendo que nos últimos 20 anos este aumento atingiu 40% em alguns países (Sistema DATASUS 2013).

O formaldeído, comumente encontrado em casas é um irritante respiratório sensibilizador e gatilho da asma. Estudo elaborado por Dannemiller *et al.* (2013) fornece um método simples para a medição de formaldeído doméstico e sugere que a asma mal controlada é relacionada com a exposição. O estudo mostrou que o aumento do controle da concentração de formaldeído teve associação com a diminuição da asma, o que sugere que diminuindo a concentração de formaldeído, o controle da asma pode melhorar.

O formaldeído (HCHO) é um gás incolor com odor forte e facilmente percebido. É o poluente que ocorre em maior frequência nas atmosferas interiores em concentrações capazes de provocar irritação sensorial nos olhos e no aparelho respiratório. Os sintomas de irritação incluem garganta seca e/ou inflamada, sensação de "picada" no nariz geralmente acompanhada de irrigação e dor dos olhos, com produção de lágrimas e necessidade de pestanejar (SILVA, 2000).

### 1.3.3 Econômica

Os poluentes presentes em ambientes internos são responsáveis, na maioria das vezes, por sintomas e efeitos que nem sempre culminam em morte dos indivíduos contaminados; alguns desses sintomas são imediatos e desaparecem quando o indivíduo sai do ambiente contaminado, mas são responsáveis pelo aumento da taxa de morbidade, com perdas de dia de

---

<sup>3</sup> DPOC- Doença pulmonar obstrutiva crônica, os principais fatores de risco são o tabagismo, poluição domiciliar (querosene e fumaça de lenha), exposição ocupacional a poeiras e produtos químicos, infecções respiratórias recorrentes.



trabalho ou ausência do ambiente escolar, gastos com medicamentos e internação, queda da produtividade no trabalho, ausência do convívio familiar e social, perda de horas de lazer, entre outras (GOMES e KUWAHARA 2008).

De acordo com o Sistema DATASUS (2009), as doenças do aparelho respiratório são a segunda maior causa de internações no Brasil, representando 13,7 % do total de internações no ano de 2007. Nota-se ainda que, entre as crianças de 1 a 4 anos, 45,5 % das internações também ocorreram devido a doenças respiratórias. Já as neoplasias foram responsáveis por 5,7 % das internações no mesmo ano. Considerando que no ano de exercício de 2007 os gastos da União com assistência hospitalar e ambulatorial chegaram a mais de R\$ 22,5 bilhões (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2007 *apud* SILVA, 2012), e sabendo que grande parte das doenças do trato respiratório tem ligação com a poluição do ar, nota-se que reduzir os riscos de contaminação do ar interior traria benefícios econômicos através da redução dos gastos públicos com saúde (SILVA, 2012).

Ainda de acordo com o Sistema DATASUS (2013), no Brasil, a asma mata aproximadamente oito pessoas por dia e é responsável por 2.500 óbitos ao ano.

Com gastos superiores aos da tuberculose e da Aids, a asma é um grave problema de saúde pública. Dados do Sistema Único de Saúde (SUS) revelam que a cada ano mais de 367 mil brasileiros dão entrada nos hospitais vitimados pelo problema. Aproximadamente 12 % de todas as autorizações de internação hospitalar do SUS (AIHs) acontecem por diagnósticos de asma, pneumonia e DPOC, o que representa gastos superiores a R\$ 600 milhões de reais por ano aos cofres públicos<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> [http://portal.saude.gov.br/portal/saude/Gestor/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=28166](http://portal.saude.gov.br/portal/saude/Gestor/visualizar_texto.cfm?idtxt=28166) abril, 2013

#### 1.3.4 Tecnológica

De acordo com Gioda e Aquino Neto (2003), são poucos os estudos no Brasil referentes à qualidade do ar interior (QAI). A autora pôde constatar que em 12 anos, a situação não teve mudanças relevantes.

Como a preocupação com a qualidade do ar interior é recente, surgindo na década de 70 (GIODA e AQUINO NETO 2003), produtos fabricados e de uso corrente na construção civil, na arquitetura de interiores, nos produtos de limpeza e conservação ainda possuem em seus componentes compostos orgânicos voláteis que são responsáveis pela contaminação do ambiente interno não industrial.

Com a mensuração da quantidade de COV nos diversos ambientes (escritórios, escolas, hospitais, restaurantes), será possível detectar quais as causas da contaminação, apontando os produtos emissores desses compostos, e divulgando estas informações junto aos profissionais responsáveis pela especificação desses produtos.

Os esforços para reduzir riscos ambientais decorrem da melhoria da informação científica disponível.

Um exemplo é o Laboratório da Qualidade do Ar Interior da Universidade do Porto (LQAI), em Portugal. Surgido em 1996 da cooperação entre dois Centros de Investigação da Universidade do Porto, um da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, da área da Engenharia Mecânica e outro da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, da área da Química. Treze anos depois, confirmou-se a necessidade da existência de um laboratório com a capacidade do LQAI, que tem como objetivos estratégicos apoiar o desenvolvimento industrial de materiais de revestimento para a indústria da construção de edifícios com objetivo de assegurar o ar interior mais saudável e a caracterização da qualidade do ar interior em edifícios, usando técnicas detalhadas através de peritagens e abordagem específica, contribuindo para um ambiente interior saudável através da investigação, da

formação e da informação, pela promoção das boas práticas e da educação ambiental<sup>5</sup>.

Por meio da informação, a sociedade, através do repúdio aos produtos que poluem o ambiente e como consequência provocam danos à saúde, pressiona as autoridades a determinarem parâmetros seguros de emissão de poluentes para as indústrias de materiais que utilizam formaldeído em suas diversas formas, obrigando-as a desenvolverem tecnologias alternativas para substituir os produtos contaminantes do ar nos ambientes internos, ou torná-los minimamente prejudiciais à saúde humana.

#### 1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

No programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná não há trabalho relacionado especificamente à contaminação do ar interno por formaldeído.

A dissertação da Bárbara Alpendre da Silva, “Superfícies em madeira e qualidade do ar: um estudo sobre os produtos e tratamentos associados ao uso da madeira no ambiente construído e as práticas de especificação dos arquitetos paranaenses”, apresenta primeiramente pesquisa bibliográfica sobre produtos associados ao uso da madeira no ambiente construído, considerando sua influência na qualidade do ar interior, impactos à saúde, restrições e cuidados durante o uso, e posteriormente, pesquisa de opinião com os profissionais da área (arquitetos), no estado do Paraná, com objetivo de verificar o conhecimento destes sobre o assunto pesquisado.

---

<sup>5</sup> [http://paginas.fe.up.pt/~lqai/lqai\\_home.html](http://paginas.fe.up.pt/~lqai/lqai_home.html) maio, 2013

O Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná também tem pesquisado assuntos relacionados à qualidade do ar em escolas públicas, sendo o artigo “*Indoor Air Quality Assessment of Elementary Schools in Curitiba, Brazil*” de autoria do professor Ricardo Henrique Moreton Godoi *et al.*, onde foram realizadas avaliações da qualidade do ar em relação a alguns compostos orgânicos voláteis em escolas de ensino básico na cidade de Curitiba.

Como contextualização nacional, menciona-se o artigo de Rivelino M. Cavalcante *et al.*, da Universidade Federal do Ceará, cujo título é *Exposure Assessment for Formaldehyde and Acetaldehyde in the Workplace* (Avaliação da exposição de formaldeído e acetaldeído no local de trabalho), foi avaliado o grau de exposição ao formaldeído e acetaldeído a que estavam submetidos funcionários e estudantes trabalhando em uma universidade brasileira para estimar o risco para a sua saúde.

No Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, menciona-se a dissertação de Eduardo Delfino Sodré, cujo título é “Avaliação da Qualidade do Ar do Interior de Locais Públicos – Formaldeído, Acetaldeído e Acetona”, onde foram realizadas avaliações da qualidade do ar de interiores, em oito ambientes públicos, para os COV descritos no título.

Nas pesquisas internacionais, em Portugal, menciona-se a dissertação de Anabela Outeiro Martins da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, cujo título é “Influência dos Materiais de Revestimento de Pavimento na Qualidade do Ar Interior em Termos de Compostos Orgânicos Voláteis”, onde a autora faz uma pesquisa sobre a evolução da qualidade do ar interior, de determinada sala, em termos de compostos orgânicos voláteis (COV), onde ao longo de um ano foram instalados, sequencialmente, quatro revestimentos de piso diferentes. Também foi estudada a influência da aplicação de produtos de tratamento e limpeza nos pisos, através de monitorização da atmosfera da sala.

Devido à importância do estudo da contaminação do ar interior esta pesquisa pretende somar-se a outras pesquisas relacionadas ao tema com

objetivo de acrescentar conhecimento na busca pela melhoria contínua da qualidade do ar no interior das edificações.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica iniciou com a leitura de fontes de artigos científicos que abordavam as diferenças entre a poluição interna e a externa e revelou a evolução do conhecimento científico relativo à primeira, onde somente a partir da década de 70 com a crise energética e a construção dos edifícios selados, a qualidade do ar interior surgiu como ciência. Posteriormente, foram analisados artigos abordando poluição interna e na sequência artigos relatando a poluição interior por formaldeído, suas causas e consequências. Com relação à importância na qualidade do ar interior destacam-se os estudos de Fanger (2006), relacionando produtividade à qualidade do ar interior em escritórios.

A revisão bibliográfica ainda destaca os valores máximos de emissão de formaldeído adotados por vários países e as principais fontes desse contaminante no ambiente interno, com os estudos de (TANG *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2009; SALTHAMMER *et al.*, 2010; HODGSON *et al.*, 2002). Também foram elencados os limites estabelecidos por órgãos nacionais e internacionais como ABNT, OSHA, ANSES entre outros que poderão ser constatados na revisão bibliográfica.

Partiu-se então para a verificação dos métodos de medição de formaldeído com objetivo de escolher o melhor método para a presente pesquisa, em função do tipo do gás a ser coletado, da quantidade do formaldeído no ambiente, da facilidade de obtenção dos resultados, do tempo de amostragem, e da segurança da pesquisa. A escolha do método para detecção da presença de formaldeído também levou em conta que fosse de técnica simples, rápida e barata para uso em estudos posteriores de amostragem em escolas, hospitais, escritórios, casas, com objetivo de incentivar a medição contínua e constatar a presença desse importante poluente do ar interior sem a necessidade de análise em laboratório que necessita de reagentes cuja venda é controlada, além de usar equipamentos sofisticados.

## 2.1 HISTÓRICO

Desde os tempos pré-históricos, quando os seres humanos começaram a ocupar lugares de climas frios, para sobreviver num clima inóspito, houve a necessidade de construir abrigos ou abrigar-se em cavernas, e o fogo era utilizado nestes abrigos para cozinhar o alimento, para aquecer o abrigo e para produzir luz, porém, ao mesmo tempo em que o fogo trazia conforto ao abrigo, aumentava a exposição dos indivíduos a altos níveis de poluição, como evidenciado pela fuligem encontrada em cavernas pré-históricas (ALBALAK, 1997, citado por BRUCE 2002).

O conceito de qualidade do ar interior não é recente. Na Antiga Roma o tutor do imperador Nero, Séneca, queixava-se do efeito que o fumo provocado pela queima de madeira tinha na sua saúde e na degradação de edifícios. Séculos mais tarde, em 1157, Eleanor, a esposa de Henrique II, Rei da Inglaterra, abandonou Nottingham devido à poluição causada pela queima de madeira (BELO, 2011).

Ainda, segundo o mesmo autor, no século XVII, quando o céu de Londres se encontrava permanentemente repleto de fumo, um arquiteto, Christopher Wren, reportou incrustações de 10 centímetros de sulfato no telhado dos edifícios.

Há registros do século XIV que abordam o tema, sugerindo mesmo que a solução para os problemas da qualidade do ar interior seria ventilar os ambientes de forma adequada (HAINES e WILSON, 1998, citado por BELO, 2011).

O primeiro episódio de poluição excessiva foi registrado em 1930 no Vale de Meuse na Bélgica. Neste Vale havia uma grande concentração de indústrias e centrais de produção de energia que utilizavam fornos de carvão. Nos cinco primeiros dias de dezembro de 1930, a falta de ventos e chuva impediu a dispersão de poluentes na atmosfera, sendo então registradas

sessenta mortes num período de dois dias após o episódio além do aumento significativo no número de doenças respiratórias (COELHO, 2007).

A qualidade do ar exterior tem sido discutida pela comunidade científica principalmente quando, nas décadas de 40 e 50 do século XX, se contabilizou nos Estados Unidos e na Europa elevado número de óbitos num curto intervalo de tempo devido à poluição atmosférica, nos episódios conhecidos como o *smog* de Donora na Pensilvânia em outubro de 1948 e o *smog* de Londres em dezembro de 1952. Condições meteorológicas desfavoráveis associadas a inversões térmicas impediram a dispersão de poluentes atmosféricos, provocando milhares de internações hospitalares e óbitos por problemas respiratórios e cardiovasculares (BELL *et al.*, 2004).

Devido ao trágico episódio de Donora, os Estados Unidos fixaram padrões de qualidade do ar e na década de 70 criaram a Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA), cuja missão é proteger a saúde humana e o meio ambiente<sup>6</sup>, com o objetivo de elaborar atividades de pesquisa, monitoramento, normas e ações para assegurar o controle da qualidade do ar e a proteção ambiental.

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 com a descoberta 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, mais elevados nos espaços interiores do que no ar exterior (SCHIRMER *et al.*, 2011).

Encontram-se hoje no Reino Unido, com frequência, casas com taxas de ventilação muito baixas, da ordem de 0,2 renovações por hora (rph), quando

---

<sup>6</sup> <http://www.epa.gov/aboutepa/history/index.html> abril, 2013



o valor recomendado pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*) é de 0,35 rph (PLATTS-MILLS *et al.*, 1996).

Esta situação tem origem nas alterações introduzidas na construção dos edifícios, com objetivo de promover o seu isolamento e estanqueidade e, conseqüentemente, minimizar os consumos energéticos (BERNSTEIN *et al.*, 2008). Este fato inclusive, contribuiu para que a *Environmental Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos, tenha vindo a classificar os problemas de QAI entre os principais riscos para a saúde pública e desde 1988, considerar o formaldeído como um dos principais poluentes do ar interior (VIEGAS E PRISTA, 2011).

Em 1992, o formaldeído foi formalmente listado pelo *California Air Resources Board* (órgão de controle de poluição da *California Environmental Protection Agency*), como contaminante tóxico do ar na Califórnia sem nível seguro de exposição. Em 26 de abril de 2007, A ATCM (*Airborne Toxic Control Measure*), foi aprovada pelo *Air Resources Board*.

## 2.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR

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

A partir da década de 70, com a crise energética, a economia de energia passou a ser prioridade principalmente nos países desenvolvidos, e isso reduziu gradativamente as taxas de renovação de ar no interior das edificações, com o objetivo de redução de custos.

Nos ambientes externos, os poluentes são dispersos ao longo do dia, já nos ambientes confinados ou com trocas de ar insuficientes, as pessoas

estão expostas a concentrações constantes de poluentes ao longo do período em que permanecem no recinto, o que pode significar em oito horas ou mais de exposição se for o ambiente de trabalho ou residencial.

Esses fatos estabeleceram uma situação de agressão à saúde nos ambientes internos e um processo de degradação da qualidade do ar interior, segundo Viegas e Prista (2011). Os níveis de concentração de aldeídos, entre os quais o formaldeído, atingem na maioria das vezes, níveis superiores em ambientes internos (duas a cinco, ocasionalmente cem vezes), quando comparados com ambientes externos.

De acordo com a OMS (2008), a poluição do ar interior é responsável por 2,7 % dos casos de doença no mundo. A má qualidade do ar tem sido apontada como a causa de sintomas físicos e queixas, tais como dores de cabeça, irritação dos olhos, nariz e garganta, falta de ar, tosse entre outros (BELO, 2011).

Este fato adquire extrema importância quando se tem em consideração que as pessoas passam a maior parte do dia em ambientes confinados, com pouca ou nenhuma ventilação natural o que traz como consequência o acúmulo de poluentes. Em média, as pessoas gastam cerca de 90% do seu tempo em ambientes fechados (dentro de casa, lazer, trabalho e meios de transporte), onde muitos níveis de poluentes são frequentemente 2-5 vezes maiores do que no exterior. A EPA e seu Conselho Consultivo Científico classificaram a poluição do ar interior entre os cinco principais riscos ambientais para a saúde pública (US EPA, 1987; EPA, 1990 *apud* EPA, 2005).

Fanger (2006) conclui e prevê que:

- A qualidade do ar interior deve ser definida em relação ao seu impacto sobre a saúde humana, o conforto, a produtividade e o aprendizado.
- Melhorar a qualidade do ar interior por um fator de 2 a 7 em comparação com normas atuais diminuiria o risco de asma e alergia nos lares, aumentaria a produtividade nos escritórios e melhoraria a aprendizagem nas escolas. Os potenciais benefícios para a sociedade seriam enormes.

- Para diminuir o percentual de insatisfeitos de 15 a 30 % (permitido pelas normas e diretrizes existentes atualmente) a um valor insignificante, pode ser necessária uma melhoria da qualidade do ar interior por um fator de 20 ou mais.
- Para atingir um nível de QAI, onde mesmo as pessoas mais sensíveis possam encontrar o ar aceitável, será necessária uma mudança de paradigma.
- Outras mudanças de paradigma são previstas quando aprendemos a tratar do ar interior para que as pessoas o percebam como sendo igualmente agradável e fresco como o ar livre, quando este é melhor, como, por exemplo, nas montanhas ou no mar.

## 2.3 EDIFÍCIOS DOENTES

A expressão “Síndrome dos Edifícios Doentes” (SED) é caracterizada por um estado doentio transitório dos usuários do edifício, uma vez que os sintomas normalmente desaparecem quando as pessoas afetadas deixam o edifício (CARMO e PRADO, 2009).

Os principais sintomas da SED são dor de cabeça, náusea, cansaço, irritação dos olhos, nariz e garganta, falta de concentração, problemas de pele, que são comuns à população em geral, mas que, numa situação temporal, pode ser relacionado a um edifício em particular, no qual uma porção significativa dos usuários, em torno de 20 % segundo Schirmer *et al.* (2011), apresenta tais sintomas. Um incremento substancial na prevalência dos níveis dos sintomas, antes relacionados, proporciona a relação entre o edifício e seus ocupantes (Portaria 3523 /1998 - MS).

Os fatores associados à SED são a elevação da taxa de absenteísmo (trabalhador que falta ao trabalho) e a redução na produtividade e na qualidade de vida do trabalhador, diante de sua exposição a um ambiente inadequado à ocupação. Desta forma, 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 (INMETRO, 2013).

Três estudos envolvendo sete condições experimentais e 90 indivíduos foram analisados por Fanger (2006), relacionando produtividade à qualidade do ar percebida. Os resultados mostram uma influência positiva significativa de alta produtividade em alta qualidade do ar interior em escritórios.

Segundo Bernstein *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, à substâncias prejudiciais à saúde.

## 2.4 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Compostos orgânicos voláteis são aqueles que contêm carbono e hidrogênio, e que se volatilizam a temperatura ambiente (CARMO E PRADO, 1999). Materiais de construção e mobiliário podem emitir COV para o ar interior (KIM *et al.*, 2009).

Os COV possuem um subgrupo denominado carbonilas. Os compostos carbonílicos mais encontrados na atmosfera são o formaldeído (HCHO) e o acetaldeído (CH<sub>3</sub>CHO) (SODRÉ, 2008).

Os COV podem interagir uns com os outros, potencializando os efeitos adversos à saúde, num processo denominado sinergia.

Internamente ao edifício, os níveis de COV são maiores. Apesar da entrada de COV provenientes do ar externo, as fontes internas prevalecem, principalmente se os edifícios forem novos. Isto é devido aos materiais de construção que quando aplicados apresentam taxas mais altas de emissão,

que vão diminuindo ao longo do tempo. Também vale ressaltar que os COV estão diretamente relacionados aos sintomas da SED (SCHIRMER *et al.*, 2011). A causa disso é, ainda, a ventilação limitada.

Os níveis de compostos orgânicos voláteis do ar interior podem variar em função da temperatura externa e umidade relativa do ar uma vez que estes dois fatores têm um impacto sobre a ventilação e as atividades dos ocupantes em relação à casa (FELLIN e OTSON, 1993; SEIFERT *et al.*, 1989 *apud* PARK e IKEDA, 2006).

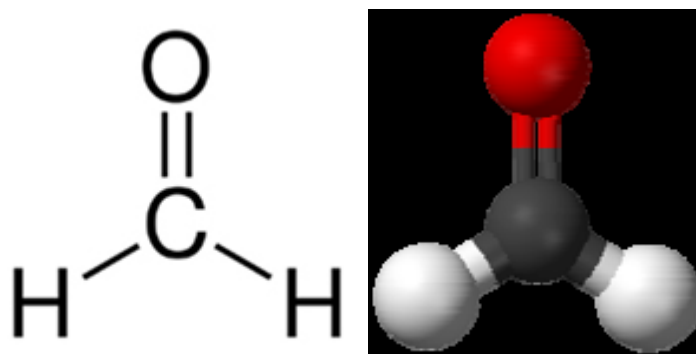
## 2.5 FORMALDEÍDO

O formaldeído foi descrito no ano de 1855 pelo Cientista russo Alexander Michailowitsch Butlerow. A técnica de síntese por desidratação de metanol foi conseguida em 1867 pelo químico alemão August Wilhelm von Hofmann. A versatilidade que o torna adequado para utilização em várias aplicações industriais logo foi descoberta, e o composto foi um dos primeiros a ser indexado pelo *Chemical Abstracts Service* (CAS). Em 1944, Joseph Frederic Walker publicou a primeira edição de sua obra clássica *Formaldehyde*. Entre 1900 e 1930, as resinas à base de formaldeído tornaram-se importante adesivo para madeira composta. O primeiro painel comercial de partículas foi produzido durante a Segunda Guerra Mundial em Bremen, Alemanha. Desde 1950, a placa de partícula tem se tornado uma alternativa atraente para madeira maciça na fabricação de mobiliário. Painéis de partículas e outros painéis à base de madeira foram posteriormente também usados para a construção de habitações (SALTHAMMER *et al.*, 2010).

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. É o principal poluente da

classe das carbonilas. Volátil a temperatura ambiente, inflamável, incolor, reativo e com forte odor, com fórmula estrutural representada na figura 1.

Figura 1- Fórmula estrutural do formaldeído.



Fonte: Coelho, 2009

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 (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007, apud VIEGAS 2010*).

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. Em ambientes fechados o formaldeído representa cerca de 60% do total de aldeídos (PEREIRA *et al.* 2001).

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; em adesivos, isolantes elétricos, lonas de freio, etc. Fontes comuns de exposição incluem ainda o que é liberado pelos veículos, a fumaça do cigarro, espumas de isolamento, conservantes e produção e uso de fungicidas e germicidas (IARC, 2004).

O formaldeído é também liberado a partir de madeira maciça. Parâmetros de formaldeído de cinco espécies de madeira na Europa (*Fagus*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus*, *Picea*, *Pinus*) foram determinados por Meyer e Boeme (1997) utilizando métodos de ensaio aplicáveis para materiais à base de madeira. As concentrações variaram entre 2 e 9 ppb<sup>7</sup>. A madeira de carvalho (*Quercus*) no estado verde mostrou a maior emissão de formaldeído, com 9 ppb e a madeira de faia (*Fagus*) tinha o menor, com 2 ppb. Os valores para o abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), abetos (*Picea*) e pinheiros (*Pinus*) foram entre 3 e 4 ppb. O valor de 9 ppb determinados no estado verde para o carvalho diminuiu para 4 ppb no estado seco. Enquanto muitos dados existem para produtos de madeira colada, há poucos dados disponíveis em valores de formaldeído para madeira maciça (MEYER e BOEHME, 1997).

Segundo Zhang *et al.* (2009), dada a sua importância econômica e uso generalizado, com produção mundial anual avaliada em R\$ 204.700.000.000<sup>8</sup>, muitas pessoas estão expostas ao formaldeído ambiental e ou ocupacional. A exposição ocupacional envolve não apenas os indivíduos que trabalham no fabrico direto de formaldeído e produtos que o contêm, 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.

Segundo Salthammer *et al.*, 2010, efeitos adversos para a saúde decorrentes da exposição ao formaldeído em casas pré-fabricadas, especialmente irritação dos olhos e das vias aéreas superiores, foram relatados pela primeira vez em meados dos anos 1960. As emissões de formaldeído de painéis de partículas coladas com resina de uréia formaldeído foram logo

---

<sup>7</sup> ppb- partes do gás por bilhão de partes do ar contaminado. 1ppb = 1,25µg/m<sup>3</sup>.

<sup>8</sup> Convertido pela autora do valor original £ 46.000.000.000, cotação da libra R\$ 4,45 em 27/04/2015 Fonte:Bovespa.

identificadas como a causa das reclamações. Como consequência, um valor de referência de 0,1 ppm<sup>9</sup> foi proposto em 1977 pela Agência Federal Alemã da Saúde para limitar a exposição humana em habitações. Critérios para a limitação e a regulamentação de emissão de formaldeído a partir de materiais à base de madeira foram estabelecidos em 1981 na Alemanha e na Dinamarca.

Apesar de ser o mais conhecido contaminante de ambientes interiores, sua presença ainda é frequente, existindo relatos de concentrações elevadas no ambiente interno. Ainda hoje os níveis de formaldeído no ar interior residencial estão entre os mais altos de qualquer contaminante do ar interior (JANTUNEN *et al.* 2008).

Este composto é altamente reativo e combina facilmente com as proteínas do corpo humano, causando inflamações nas membranas mucosas da boca, olhos e pele (PIZZI e MITTAL, 2003).

Avaliação feita pela IARC - *International Agency for Research on Cancer* da Organização Mundial da Saúde - sobre o formaldeído, concluída em 1987, classificou-o no grupo 2A - provável cancerígeno em humanos - e manteve essa classificação também em uma segunda avaliação feita em 1995.

Em 2003, foi montado um grupo de trabalho com cientistas da mesma Agência, que reavaliaram os resultados de estudos existentes e optaram pela reclassificação do formaldeído quanto ao seu potencial cancerígeno. Desta forma a partir de julho de 2004, a IARC classificou este composto como carcinogênico (Grupo 1), tumorogênico e teratogênico por produzir efeitos na reprodução para humanos. Estudos experimentais demonstraram ser também, para algumas espécies de animais (MORGAN, 1997).

O formaldeído é um agente reconhecidamente cancerígeno em humanos. De acordo com o Instituto Nacional do Câncer (INCA), em relação ao câncer, não há níveis seguros de exposição. Faz parte das 25 substâncias

---

<sup>9</sup> ppm- partes do gás por milhão de partes do ar contaminado. 1 ppm = 1,25 mg/m<sup>3</sup>.



químicas mais abundantemente produzidas no mundo o que se deve a elevada reatividade do formaldeído, ausência de cor, e ao seu baixo custo.

De acordo com a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC), nº35 da Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), de 03 de junho de 2008, no seu artigo 4º “Fica proibido uso do formaldeído em produtos saneantes, assim como concentrações dos demais conservantes superiores às permitidas no anexo desta resolução e devidas atualizações”. Entende-se por produto saneante substâncias ou preparações destinadas à higienização, desinfecção, desinfestação, desodorização, odorização de ambientes domiciliares, coletivos e ou públicos (detergentes, desinfetantes, alvejantes, ceras para pisos, produtos de pré e pós lavagem, entre outros). Esta determinação foi baseada na RDC nº184 de 22 de outubro de 2001 da Anvisa que proíbe o uso de substâncias carcinogênicas, teratogênicas e mutagênicas nas formulações de produtos saneantes. Não há outras recomendações ou normas, no Brasil, a respeito do formaldeído.

### 2.5.1 Propriedades físico-químicas

O formaldeído se apresenta na forma gasosa à temperatura ambiente, com ponto de ebulição entre  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e com odor característico irritante. É inflamável, solúvel em água, reativo e se polimeriza lentamente a temperaturas abaixo de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O formaldeído se decompõe facilmente em metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Devido à sua instabilidade química, o formaldeído gasoso não é comercializado, sendo, portanto vendido na forma de solução ou sólido polimérico. A solução aquosa de formaldeído, conhecida como formol ou formalina, é comercializada contendo de 30 % a 50 % de formaldeído e metanol numa faixa de 8 a 15 %. Este último é adicionado como agente estabilizante para evitar a formação de polímeros, já que esta é uma tendência desse aldeído. Uma característica marcante desse aldeído é a sua alta reatividade. Esse fato pode ser explicado pela estrutura deste composto. A

carbonila do formaldeído é polarizada, de forma que o oxigênio, elemento mais eletronegativo dessa molécula, atrai para si os elétrons da ligação (C=O) gerando um dipolo permanente de modo que o carbono apresente carga parcial positiva, reagindo facilmente frente a nucleófilos (REUSS *et al.* 1994, *apud* MOREIRA, 2015)

## 2.6 INFLUÊNCIAS EXTERNAS NA EMISSÃO DE FORMALDEÍDO

Wolkoff e Kjaergaard (2007) concluíram que a alta umidade relativa, bem como a alta temperatura são prejudiciais para a QAI imediatamente percebida (um instantâneo da percepção) na exposição à emissão de materiais de construção. Concluíram também que os poluentes do ar interior, como compostos orgânicos voláteis, são a causa mais provável da irritação sensorial. A umidade relativa e a temperatura ambiente influenciam a QAI percebida, assim como ela desempenha um papel para outros tipos de exposição, por exemplo, emissão de formaldeído a partir de materiais de construção. A emissão de formaldeído a partir de materiais à base de madeira é proporcional à umidade relativa a uma dada temperatura.

Para Salthammer *et al.* (2010) a emissão de formaldeído aumenta linearmente com o aumento da umidade relativa do ar.

Segundo Dingle e Franklin (2002), os níveis mais altos foram encontrados em casas mais novas e em casas monitoradas no verão.

Järnström *et al.* (2006) também relatam concentrações de formaldeído mais elevados no verão, segundo os autores, houve uma tendência ligeiramente crescente da concentração de formaldeído no verão; quando a umidade relativa foi de pelo menos 50%. Essas variáveis, que não são necessariamente independentes, foram estação do ano, umidade relativa, temperatura, troca de ar, revestimentos de pisos, tetos e paredes e ocupação.

Já Wong *et al.* (2006) tentaram relacionar concentrações de formaldeído interior para outros poluentes e parâmetros climáticos, mas encontraram apenas baixas correlações.

## 2.7 UTILIZAÇÃO DO FORMALDEÍDO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O formaldeído é 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 acabamento interiores. Faz parte da constituição de diversos aditivos acrescentados às tintas para aumentar a capacidade de fixação destas ou para servir como agente bactericida. O formaldeído também intervém na produção de polimetil-polifenil-isocianato (PMDI), produto empregado de forma significativa no fabrico de poliuretanos, que se obtém pela reação da anilina com o formaldeído na presença de ácido clorídrico e posterior aplicação de fosgênio. Os produtos de poliuretano apresentam inúmeras aplicações (vernizes, colas, pneus, mobílias, colchões, calçados, etc.). Apesar do aumento das restrições internacionais, o formaldeído continua a entrar na composição de uma grande variedade de produtos (ALVES E ACIOLE, 2012).

O formaldeído é também a matéria-prima usada nos adesivos para madeira composta. Os adesivos de ureia - formaldeído (UF) (chamados aminoplastos) ainda são os produtos mais comumente utilizados na fabricação de materiais à base de madeira e móveis, devido à sua cura rápida, a sua compatibilidade com aditivos, e seu baixo preço. Segundo Pizzi e Mittal (2003), estas resinas têm duas grandes desvantagens: hidrólise das ligações causada pela água e umidade e elevadas emissões de formaldeído, tanto durante o processo de produção bem como, ao fim de algum tempo, a partir dos produtos

finais. A liberação de formaldeído a partir de aglomerados de partículas com resina UF é causada essencialmente por duas razões. Pode ocorrer devido à presença de formaldeído livre não reagido no aglomerado, bem como à presença de formaldeído formado pela hidrólise das ligações amino-metileno.

Adesivos UF têm má resistência à água: a presença de água resulta em hidrólise de uma ligação C-N e, como consequência, a liberação de formaldeído. Adesivos à base de Fenol-formaldeído (PF) (chamados phenoplastos), são muito estáveis e resistentes à água e tem uma alta aderência para madeira. Adesivos de melamina-ureia-fenol-formaldeído (MUPF) são utilizados para a produção de produtos a base de madeira à prova de umidade e de materiais de construção (SALTHAMMER *et al.*, 2010).

Os adesivos à base de formaldeído são utilizados na fabricação de painéis de partículas de madeira orientada (OSB), placa de fibra de alta densidade (HDF), placa de fibra de média densidade (MDF), madeira compensada (MDP) e produtos de revestimento de cortiça.

## 2.8 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). Também podem estar expostos de modo mais intenso os marceneiros e carpinteiros.

O formaldeído é um dos constituintes principais de diversos tipos de resinas sintéticas. Consequentemente entre as fontes interiores de formaldeído estão os materiais de decoração, tais como os painéis de aglomerado, MDF (do inglês *medium density fibreboard*), OSB, colas, carpetes, tintas, etc.

Móveis com aglomerados e MDF são por vezes deixados sem lâmina de revestimento na sua face interna e eventualmente na face externa. Tais partes exalam vapores originários da cola nos quais o formaldeído é o principal componente (SCHMID, 2006).

Segundo Hodgson *et al.*(2002), madeira e produtos de madeira composta são prováveis principais fontes de aldeídos e terpenos em casas novas.

No verão de 2007, foi revelado pela primeira vez que as vítimas do furacão Katrina e Rita tiveram problemas de saúde, por terem sido alojadas nos 144000 reboques fornecidos pelo governo, contendo níveis perigosos de formaldeído. Os reboques eram construídos com madeira compensada. A Agência Federal de Gestão de Emergência (FEMA) recebeu mais de 200 reclamações de moradores dos reboques sofrendo de problemas respiratórios e outros sintomas, devido à exposição ao formaldeído emitido a partir dos materiais utilizados para construção das casas móveis. Vários reboques eram ocupados por famílias compostas de mulheres grávidas e crianças onde foram constatados níveis de formaldeído em seus quartos que atingiram até 1,2 ppm, resultando em sinusite, sensação de queimação nos olhos, e sensação geral de doença (ZHANG *et al.*, 2009).

Para Bernstein *et al.* (2008), 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.

De acordo com o banco de dados de emissões de poluentes atmosféricos interiores PANDORA (*comPIlAtioN of inDOor aiR pollutAnt emitions*), as emissões de formaldeído a partir de materiais são predominantes em espaços fechados, tais como escritórios e salas de hospital, mas que ambos, materiais, ocupantes e atividades dos ocupantes devem ser considerados para residências (ABADIE e BLONDEAU, 2011).

Também, segundo o mesmo banco de dados mencionado no parágrafo anterior, emissões de formaldeído de equipamentos eletrônicos também foram consideradas desprezíveis.

Porém, segundo Viegas e Prista (2011), outras fontes emissoras têm ainda que ser consideradas. Por exemplo, um estudo recentemente desenvolvido evidenciou a responsabilidade de alguns equipamentos elétricos, detectando níveis de concentração de 0,055 ppm de formaldeído atribuíveis à presença de monitores televisivos de plasma, quando os referenciais americanos estabelecem o valor de 0,033 ppm como limite máximo de emissão para este tipo de equipamento. São dados preocupantes considerando que existe um aumento significativo do número destes equipamentos numa habitação, além do tempo em que as pessoas ficam expostas.

Park e Ikeda (2006) mediram os níveis de 25 compostos, entre os quais o formaldeído durante o período de três anos em casas novas, de até 6 meses de construção e casas mais antigas. Nas casas novas, a média no primeiro ano foi de  $134 \mu\text{g m}^{-3}$ . A pesquisa também demonstrou que os níveis das novas casas diminuiu acentuadamente depois um ano, e também que as emissões de formaldeído são estáveis quando obtidos em poucos meses iniciais após a conclusão ou a reforma. A média durante o terceiro ano foi de  $86 \mu\text{g m}^{-3}$ . Nas casas mais antigas a concentração média foi de  $88\text{-}90 \mu\text{g m}^{-3}$  mostrando um estado estacionário sem quaisquer flutuações durante o período de 3 anos, com exceção para as casas reformadas.

Para Mendell (2007), pesquisas adicionais sobre formaldeído devem melhorar a quantificação dos riscos e sugere a necessidade de melhor avaliar os riscos de doenças respiratórias e alérgicas e demais efeitos sobre a saúde de muitos materiais de construção de uso comum a fim de motivar e orientar ações preventivas necessárias.

## 2.9 LIMITES DE FORMALDEÍDO E LEGISLAÇÃO

A exposição ao formaldeído é maior no ambiente interior, devido, principalmente, às fontes emissoras existentes, aliados a baixas taxas de renovação de ar no ambiente interno se comparado ao ambiente externo, especialmente nos locais de trabalho. De acordo com Meyer e Boehme (1997), o formaldeído é um produto de metabolismo, que está sempre presente na natureza, assim, um valor de "zero" não pode ser alcançado.

A Resolução nº 9 da ANVISA 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.

A Norma regulamentadora número 15 (NR15) determina valores máximos de exposição ocupacional para o formaldeído, considerando jornada semanal de 48 horas de exposição, em 1,6 ppm ou 2,3 mg/m<sup>3</sup> considerado insalubridade em grau máximo, o que significa que se o trabalhador estiver exposto até este nível não necessita proteção e não recebe adicional de insalubridade.

Os limites de exposição sugeridos por órgãos internacionais também diferem. O Departamento de Segurança Ocupacional e Administração de Saúde dos Estados Unidos (OSHA, 2011), estabeleceu normas com objetivo de proteger os trabalhadores expostos ao formol. O limite máximo permitido para o formol nos locais de trabalho é de 0,75 ppm ou 0,108 mg/m<sup>3</sup>, em 8 h de exposição diária. Um segundo limite é de 2 ppm ou 2,87 mg/m<sup>3</sup> para exposições curtas de 15 minutos. Se compararmos à NR15, a norma brasileira permite exposição 2,13 vezes maior que a OSHA, sem que haja necessidade

de equipar o trabalhador com equipamento de proteção individual (EPI) e sem a necessidade de pagamento de adicional de insalubridade.

O Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional dos Estados Unidos (NIOSH), tem recomendado para oito horas, a exposição ocupacional ao formaldeído de no máximo 0,016 ppm, e para 15 minutos, a exposição de 0,1 ppm. Novamente comparada a NR15 teremos permitida no Brasil exposição 100 vezes maior que a NIOSH sem necessidade de utilização de EPI ou pagamento de adicional de insalubridade.

Na França, a *Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail* (ANSES, 2015) propôs como diretriz os valores de 0,25 mg/m<sup>3</sup> para 8 horas de exposição e 0,5 mg/m<sup>3</sup> para exposição de 15 minutos. Novamente comparando à NR 15 para longo prazo de exposição temos no Brasil exposição em torno de 9 vezes maior que a ANSES sem necessidade de utilização de EPI ou pagamento de adicional de insalubridade.

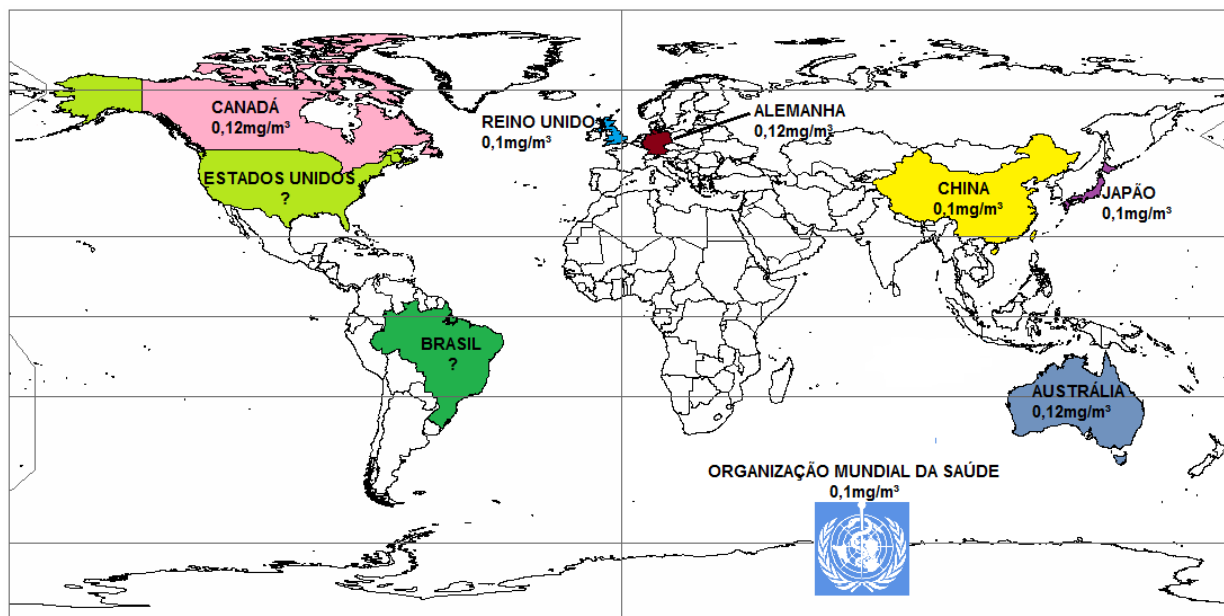
O Canadá estabeleceu em 2006 Diretrizes de Qualidade do Ar Interior residenciais especificando para exposição de curto prazo (1h), o limite de exposição de 0,1 ppm (123 mg m<sup>-3</sup>) e para exposição de longo prazo (8 h), o limite de exposição de 0,04 ppm ( 50 mg/m<sup>3</sup>) (SALTHAMMER *et al.* 2010).

A legislação portuguesa cita como concentração máxima de formaldeído para a obtenção de certificação de QAI 0,1 mg/m<sup>3</sup> (SILVA, 2012).

Para exposições de 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. Já Alemanha e Singapura, por exemplo, tem o limite um pouco superior, de 0,098 ppm ou 0,123 mg/m<sup>3</sup> (TANG, 2009). Já os Estados Unidos e o Brasil não possuem limite de exposição ao formaldeído para ambientes residenciais (Figura 2).



Figura 2- Limites de exposição ao formaldeído no ambiente interior de residências de vários países, e limite estabelecido pela OMS.



Fonte: Tang *et al.* 2009, tradução livre da autora.

Para Salthammer *et al.* (2010), pode-se esperar que os projetos de habitação avançados e inteligentes trarão uma nova queda nas concentrações de formol em espaços interiores. No entanto, as concentrações médias internas no ar de outros compostos também diminuirão e o estudo RIOPA (*relationships of indoor, outdoor, and personal air*) mostrou que entre as carbonilas a intensidade da fonte interior de formaldeído é ainda elevada nos EUA.

Em 2004, o *Committee on the Medical Effects of Air Pollutants* (COMEAP), do Reino Unido, recomendou um valor limite de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para meia hora de exposição ao formaldeído interior. A Finlândia criou um sistema diferente, onde o ar interior é classificado como S1 (ambiente interior saudável), S2 (bom ambiente interior), e S3 (ambiente interior satisfatório), onde os valores alvo de formaldeído foram definidos como  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. A Suécia adotou o valor de orientação da OMS, mas uma redução adicional para  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  está atualmente em discussão (SALTHAMMER *et al.* 2010).

O Ministério da Saúde e Bem-Estar Social Polonês emitiu um decreto para reduzir os poluentes emitidos através de materiais de construção e mobiliário das edificações não industriais. As concentrações máximas permitidas para formaldeído, categorizados na Categoria A (até 24 h de exposição por dia) e na Categoria B (8 a 10 h de exposição por dia) são de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. A Alemanha estabeleceu diretriz para valor interior de 0,1 ppm em 1977. *Bundesinstitut für Risikobewertung* (BFR) e a Agência Federal do Meio Ambiente afirmou em 2006 que uma revisão deste valor de referência não seria necessário (SALTHAMMER *et al.*, 2010).

Alguns sistemas de certificação de qualidade voluntária, como o selo alemão denominado "Anjo Azul" adotam, segundo Salthammer *et al.*(2010), uma concentração em regime estacionário em 0,05 ppm.

Ludewig *et al.* (2008, *apud* Salthammer *et al.*,2010), testaram recentemente a emissão de formaldeído a partir de 31 amostras de OSB fabricadas na Alemanha. As concentrações no regime estacionário variaram desde 0,01 ppm a 0,09 ppm, com uma mediana de 0,04 ppm.

O sistema de classificação finlandês é indiscutivelmente um dos mais bem sucedidos do mundo. É amplamente aceito pelos cientistas do ar interior e por profissionais, bem como pelos fabricantes e outras partes interessadas. A classificação divide materiais de construção em duas categorias classificadas onde M1 é o melhor com emissão máxima de formaldeído menor que  $0,05 \text{ mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$  seguido da categoria M2 com emissão máxima de  $0,125 \text{ mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ . Os materiais classificados devem cumprir esses critérios com a idade de quatro semanas (LEVIN, 2010).

A ATCM (*Airborne Toxic Control Measure*) estabelece medidas de controle para reduzir as emissões de formaldeído a partir de produtos de madeira composta em duas fases de padrões de emissão de formaldeído, medida pela Sociedade Americana para Testes e Materiais (*American Society for Testing and Materials - ASTM*). A primeira fase estabelece limites de emissão de formaldeído para alguns painéis de madeira composta a serem atendidos até julho de 2009. Na segunda fase os limites devem ser atendidos

até julho de 2011. Os materiais que atendam aos padrões poderão ser usados em artigos acabados feitos com esses materiais (Tabela 1).

Tabela 1- Padrões de emissão de formaldeído nas fases 1 e 2 estabelecidos pela ATCM, baseado no método de teste inicial [ASTM E 1333-96(2002)] em partes por milhão (ppm). HWPW-VC = base chapeada; HWPW-CC = base composta.

<b>Padrões de emissão - Fase 1</b>					
Data de vigência	HWPW-VC	HWPW-CC	PB	MDF	MDF Fino*
Janeiro de 2009	0,08	-----	0,18	0,21	0,21
Julho de 2009	-----	0,08	-----	-----	-----
<b>Padrões de emissão - Fase 2</b>					
Janeiro de 2010	0,05	-----	-----	-----	-----
Janeiro de 2011	-----	-----	0,09	0,11	-----
Janeiro de 2012	-----	-----	-----	-----	0,13
Julho de 2012	-----	0,05	-----	-----	-----

\* MDF fino: chapas de fibras de densidade média com uma espessura máxima de oito milímetros.

Fonte: *California Air Resources Board, 2007.*

Todos os padrões são “limite”, ou seja, eles não podem ser excedidos. Os padrões se aplicam a produtos nacionais e importados. O objetivo dessa medida de controle de produtos tóxicos transportados pelo ar é reduzir a emissão de formaldeído proveniente de madeira composta e de produtos acabados que contenham madeira composta e que sejam vendidos, postos à venda, fornecidos, usados ou fabricados para serem vendidos na Califórnia. ATCM enfoca especificamente três produtos de madeira composta: compensados de madeira de lei (*hardwood plywood* - HWPW), painel de partículas (*particleboard* - PB) e painel de fibras de madeira de média densidade (*medium density fiberboard* - MDF). ATCM será aplicada aos produtores de painéis, distribuidores, importadores, fabricantes e varejistas de HWPW, PB, MDF e artigos acabados contendo esses produtos, que sejam vendidos ou fornecidos para a Califórnia. Para assegurar a conformidade com a ATCM, os fabricantes de painéis de madeira composta devem ser certificados por órgãos credenciados. Isso exige a realização de testes independentes de emissão em painéis e processos de fabricação para todos os fabricantes que vendam ou forneçam produtos para a Califórnia. Os certificadores independentes devem ser aprovados pelo *Air Resources Board*. Como incentivo, os fabricantes que usem resinas sem a adição de formaldeído não estarão sujeitos à exigência de certificação por órgãos credenciados. Existem vários tipos de resinas alternativas disponíveis comercialmente que atendem aos padrões da fase 2, e a otimização das resinas de uréia-formaldeído está em andamento permitindo a formulação de resinas mais econômicas antes de 2010. Para garantir aos clientes a conformidade dos produtos, os fabricantes de painéis HWPW, PB e MDF deverão rotular os seus produtos e fornecer documentação nas faturas ou conhecimentos de embarque que declare que os seus produtos atendem aos padrões propostos. Do mesmo modo, os distribuidores, importadores e fabricantes também deverão fornecer documentação de conformidade dos produtos aos seus clientes, a saber, varejistas. Ao usarem HWPW, PB e MDF na produção de artigos acabados como armários e móveis, os fabricantes deverão rotular seus produtos como feitos de acordo com as exigências para HWPW, PB e/ou MDF (*California Air Resources Board*, 2007).

Ainda, de acordo com *California Air Resources Board*, (2007) estima-se que as emissões de formaldeído de HWPW, PB e MDF na Califórnia sejam de aproximadamente 900 toneladas por ano. Com base na média das emissões oriundas de produtos fabricados com madeira composta, a ATCM irá reduzir as emissões de formaldeído em 20% na fase 1, ou seja, cerca de 180 toneladas por ano. Na fase 2 será alcançada uma redução de 58% nas emissões de formaldeído, ou seja, 500 toneladas por ano.

Atualmente na China, o sistema de certificação ou rotulagem referente a emissão de formaldeído a partir de produtos de madeira composta está em conformidade com os requisitos dos regulamentos *California Air Resources Board* sobre as emissões de formaldeído de produtos de madeira composta (EPA, 2010).

Em 2010 os Estados Unidos alteraram a norma para controle das substâncias tóxicas para as emissões de formaldeído a partir de produtos de madeira composta<sup>10</sup>.

No Brasil o Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Partículas de Madeira (MDP) e Painéis de Fibra de Madeira (MDF) ou simplesmente Programa Setorial da Qualidade implementado pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), iniciou auditorias em outubro de 2011 em 6 empresas participantes, atualmente o programa conta com 9 empresas participantes. O programa tem por principal objetivo elaborar mecanismos específicos que garantam que os painéis de madeira (MDP e MDF) comercializados no Brasil apresentem desempenho satisfatório, atendendo às necessidades dos usuários sem prejudicar a isonomia competitiva entre fabricantes. Segundo o Programa é fundamental que os painéis de madeira (MDP e MDF) comercializados no país atendam aos requisitos mínimos de desempenho, cujo processo de fabricação não degrade as florestas, utilizem matérias-primas que não sejam agressivas para o meio ambiente e para a saúde. A comercialização de painéis

---

<sup>10</sup> <https://www.sec.gov/about/laws/wallstreetreform-cpa.pdf> abril de 2015.

de madeira que não atendam a essas demandas, macula a imagem do produto junto aos usuários da indústria moveleira e da construção civil, consumidores finais e contraria os interesses de toda a sociedade brasileira. O Programa Setorial da Qualidade pretende realizar sistematicamente a verificação do desempenho dos painéis de madeira (MDP e MDF) comercializados no Brasil, combater a não conformidade sistemática às normas técnicas da ABNT, bem como analisar se as normas brasileiras existentes do produto discriminam objetivamente os requisitos necessários para o bom desempenho dos painéis de madeira. Atualmente são avaliados os painéis MDF e MDP de uso geral, em condições secas, sem revestimento ou com revestimento laminado decorativo branco nas duas faces e com espessura de 15 mm dada a maior representatividade em termos de volume nacional de produção desse tipo de painel em relação aos demais. Entre os requisitos normativos avaliados está o teor de formaldeído do painel cuja avaliação é trimestral devido a criticidade e porque o resultado desses ensaios é classificatório, devido aos problemas que os painéis que não atendem às normas em relação a emissão de formaldeído podem provocar tais como dor de cabeça, irritação das mucosas, dificuldade de concentração e irritabilidade. Atualmente os ensaios nas amostras auditadas para a determinação do teor de formaldeído está sendo realizada pelo Laboratório de Madeira e Móveis do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), acreditado pelo INMETRO para o ensaio de determinação do teor de formaldeído. A primeira relação das empresas qualificadas e não qualificadas do Programa foi publicada em fevereiro de 2013. A empresa contratada para as auditorias encaminha o Relatório Técnico de Análise da Conformidade à IBÁ em envelope lacrado devido ao conteúdo confidencial das análises das amostras, juntamente com uma carta com as informações sucintas das não conformidades encontradas (sem revelar valores de ensaios ou demais informações confidenciais), porém o conteúdo da carta é suficiente para elaborar denúncia contra a empresa junto ao Ministério Público Federal (IBÁ, 2015). O Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Partículas de

Madeira (MDP) e Painéis de Fibra de Madeira (MDF) é reconhecido pelo PBQP-H, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat, do Ministério das Cidades<sup>11</sup>.

Embora de grande importância o Programa Setorial da Qualidade não abrange todos os fabricantes, não analisa todos os tipos de painéis de madeira e não tem ampla divulgação entre os consumidores, para que possam buscar os produtos que façam parte do Programa.

Para o formaldeído é necessário que haja no Brasil mudanças nos níveis de exposição para ambientes internos, face aos estudos recentes e à tendência mundial para o controle desse poluente. Uma breve comparação entre os limites ocupacionais aceitos em vários países e o limite da NR15 ilustra a grande disparidade entre as normas internacionais e a brasileira, quando essa última existe.

## 2.10 MADEIRAS COMPOSTAS

Os processos de laminação, colagem e de redução em pequenos elementos de madeira sólida, propiciaram o surgimento dos painéis de madeira reconstituída, produto resultante da colagem de lâminas, partículas, ou fibras de madeira sob temperatura e pressão. Entre os tipos de painéis se destacam: os laminados, constituídos por lâminas contínuas de madeira coladas, sobrepostas em camadas de sentido de veio oposto (compensado) ou de sentido de veio paralelo (LVL – *Laminated Veneer Lumber*); os colados lateralmente (EGP – *Edge Glued Panels*) constituídos por sarrafos colados pelas bordas; os de lascas orientadas (OSB - *Oriented Strand Board*); os de partículas (aglomerado, MDP - *Medium Density Particleboard*); e os de fibras

---

<sup>11</sup> [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_simac\\_psq2.php?id\\_psq=116](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psq2.php?id_psq=116), abril 2015.

de madeira (MDF - *Medium Density Fibreboard*), HDF (*High Density Fibreboard*). Todos colados com resinas à base de formaldeído (REMADE, 2003; IWAKIRI, 2005; KIM *et al.*, 2006, citados por BOLOGNESI, 2010).

Segundo Salthammer *et al.* (2010), havia no passado uma relação entre emissão de formaldeído e produtos à base de madeira. Esta imagem negativa resultou da alta liberação de formaldeído de painéis de madeira composta ligados com ureia formaldeído nos anos 1960 e 1970. Muitos ocupantes das habitações em que os painéis de madeira composta eram utilizados, como casas pré-fabricadas e casas móveis, reclamaram de maus odores e efeitos adversos à saúde.

Ainda segundo o mesmo autor, desde 1970 as taxas de emissão de formaldeído de painéis de partículas e outros materiais à base de madeira diminuíram na Alemanha como consequência de diretrizes governamentais e regulamentos voluntários. Além disso, produtos de madeira composta colados com adesivos à base de fenol formaldeído mostraram potenciais relativamente baixos de emissão de formaldeído, devido à ligação mais estável. Ainda, adesivos ambientalmente amigáveis usando tanino natural têm sido desenvolvidos para reduzir a dependência em relação a adesivos à base de formaldeído.

Ainda de acordo com Salthammer *et al.* (2010), nos Estados Unidos, a discussão sobre formaldeído em casas móveis, voltou a atenção do público quando os sobreviventes do furacão Katrina, que vivem em trailers fornecidos pelo Departamento de Segurança Interna dos EUA (FEMA), queixaram-se de odores estranhos e efeitos adversos à saúde.

O *Center for Disease Control and Prevention* (CDC) selecionou aleatoriamente 519 dos 120.000 reboques e casas móveis onde foram medidas as concentrações de formaldeído entre 21 de dezembro de 2007 e 23 de Janeiro de 2008. Os resultados indicaram níveis médios de formaldeído de 0,077 ppm, e alguns ainda mais elevados com 0,59 ppm, ZHANG *et al.* (2009). Nesse estudo do CDC foi relatado que a temperatura interna era um fator



significativo para níveis de formaldeído, independentemente do modelo ou fabricante do reboque.

Maddalena *et al.* (2008) estudaram quatro unidades habitacionais temporárias desocupadas do FEMA, cada uma produzida por um fabricante diferente, para avaliar as emissões de seus interiores. O estudo identificou madeiras compostas feitas com resina de uréia-formaldeído como importantes fontes de formaldeído nas residências.

No estado estacionário as concentrações de formaldeído interior variaram de  $378 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,31 ppm) a  $632 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,52 ppm) de manhã e a partir de  $433 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,35 ppm) a  $926 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,78 ppm), à tarde.

A emissão de formaldeído a partir de placas de partículas ligadas com adesivos à base de ureia formaldeído pode continuar por meses ou mesmo anos, mas a emissão potencial diminui com o aumento da idade (ZINN *et al.* 1990, *apud* SALTHAMMER *et al.* 2010).

Os painéis de madeira compostas podem ser revestidos de diversas maneiras, ainda assim apresentando altas emissões de formaldeído, que podem ser potencializadas em ambientes fechados.

#### 2.10.1 Painéis de madeira no Brasil

No Brasil os painéis de madeira tem substituído a madeira maciça para diferentes usos, entre eles a fabricação de móveis, pisos, painéis de decoração, como material de construção e divisórias de ambiente.

Para fabricação dos painéis são utilizadas madeiras em lâminas ou desagregadas, estas aglutinadas através de pressão e temperatura, com uso de resinas.

Os painéis surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade oriunda da escassez e pelo encarecimento da madeira maciça (MATTOS *et al.*, 2008).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), no segmento de painéis de madeira, a produção de janeiro a dezembro de 2014 atingiu 8 milhões de m<sup>3</sup>, alta de 1,1 % sobre o mesmo período de 2013. De janeiro a dezembro de 2014, o volume de exportações de painéis de madeira somou 421 mil m<sup>3</sup>, crescimento de 20,6 % em relação ao mesmo período de 2013<sup>12</sup>.

Segundo a ABIPA (Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira), todos os seus integrantes obedecem às normas técnicas brasileiras. No entanto, apenas um fabricante atinge a classificação E-1, idêntica à europeia, que limita a emissão a 8 mg/100 g de painel. Na Tabela 2 estão classificados os painéis de madeira em relação à emissão de formaldeído, segundo as normas brasileiras para aglomerado e MDF e segundo as normas da Comunidade Européia e do Japão. As classificações E1 e F\*\*\*\* são as que caracterizam o produto com a menor concentração de formaldeído.

---

<sup>12</sup> <http://www.iba.org/web/pt/midia/exportacoes-celulose-paineis-madeira-papel-tem-alta-2014.htm> , consulta em abril/2015.

Tabela 2- Classificação de emissão de formaldeído em painéis de madeira reconstituída no Brasil, Comunidade Europeia (CE) e Japão.

País	Tipo de painel	Normas de emissão de formaldeído		Classificação	
		Classificação	Quantificação	Classe	Concentração de formaldeído
Brasil	Aglomerado	ABNT NBR 14810-2		E1	$\leq 8 \text{ mg}/100 \text{ g}$
				E2	$> 8 \text{ mg}/100 \text{ g}$ e $\leq 30 \text{ mg}/100 \text{ g}$
	MDF	ABNT NBR 15316-2		E1	$\leq 8 \text{ mg}/100 \text{ g}$
				E2	$> 8 \text{ mg}/100 \text{ g}$ e $\leq 30 \text{ mg}/100 \text{ g}$
CE	Aglomerado, OSB, MDF (não revestidos)		EN 120	E1	$\leq 8 \text{ mg}/100 \text{ g}$
				E2	$> 8 \text{ mg}/100 \text{ g}$ e $\leq 30 \text{ mg}/100 \text{ g}$
	Compensado, painéis de madeira sólida, LVL não revestidos	EN 13986	EN 717-2	E1	$\leq 3,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ $\leq 5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (dentro de 3 dias após a produção)
				E2	$> 3,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ; $\leq 8 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ $> 5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ; $\leq 12 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (dentro de 3 dias após a produção)
				E1	$\leq 3,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
				E2	$> 3,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ; $\leq 8 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
Japão	Aglomerado	JIS A 5908	JIS A 1460	F****	Média $\leq 0,3 \text{ mg l}^{-1}$
				F***	Média $\leq 0,5 \text{ mg l}^{-1}$
	MDF	JIS A 5905		F**	Média $\leq 1,5 \text{ mg l}^{-1}$
				F****	Média $\leq 0,3 \text{ mg l}^{-1}$
	Compensado	JAS 233		F***	Média $\leq 0,5 \text{ mg l}^{-1}$
				F**	Média $\leq 1,5 \text{ mg l}^{-1}$
F*				Média $\leq 5,0 \text{ mg l}^{-1}$	

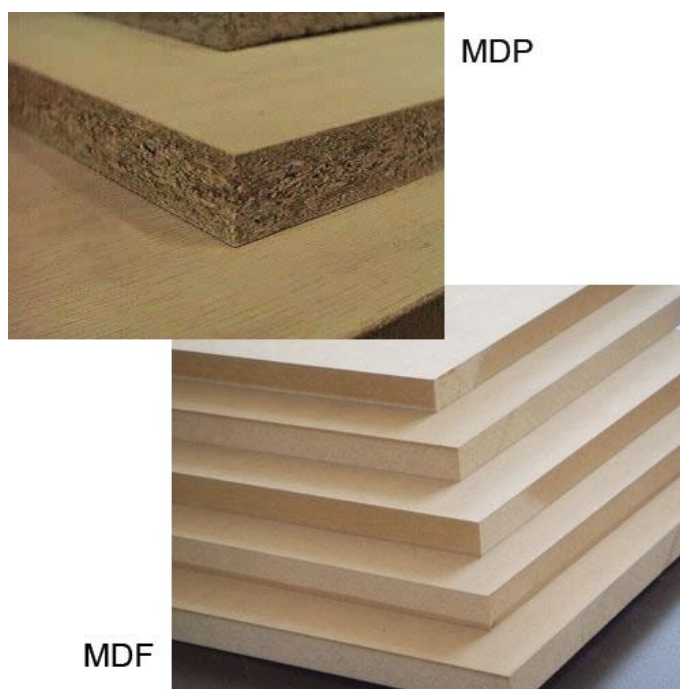
Fonte: Bolognesi, 2010, adaptado pela autora com atualização da norma ABNT NBR 15316-2.

### 2.10.2 Aglomerado e MDP

É uma chapa fabricada com partículas de madeira aglutinadas por meio de resina, com ação de calor e pressão (Figura 3). No Brasil, a principal fonte de matéria-prima é a madeira de florestas plantadas de eucalipto e de pinus (MATTOS *et al.*, 2008).

Ainda, de acordo com o mesmo autor, a diferença entre aglomerado e MDP é o modo de prensagem. A partir da metade da década de 1990, as empresas brasileiras investiram em modernização tecnológica, que conferiu ao produto melhores características de resistência, e como consequência a modificação da nomenclatura para MDP (*médium density particleboard*), ou painel de partículas de média densidade, numa tentativa de dissociar o novo produto do aglomerado tradicional.

Figura 3 - Chapa de MDP e MDF.



Fonte: [https:// www.alagoasmarcenarias.com.br](https://www.alagoasmarcenarias.com.br) (2014).

O MDP é utilizado principalmente na fabricação de móveis retilíneos, tampos de mesas, laterais de armários, estantes e, na construção civil como portas retas, almofadas de portas, balaústres de escadas, pisos, rodapés, batentes e divisórias (IBÁ, 2015) .

### 2.10.3 MDF

A chapa de MDF (*medium density fiberboard*) (Figura 3) é fabricada de modo similar ao do MDP. Na fabricação do MDF é utilizada madeira reduzida a fibras, também aglutinadas por meio de resinas, com ação de calor e pressão. A matéria-prima utilizada é a mesma empregada na fabricação do MDP. No Brasil, as florestas plantadas de eucalipto e de pinus também são a fonte principal de madeira para fabricação desse painel (MATTOS *et al.*, 2008).

O MDF é utilizado na fabricação de móveis, portas usinadas, pés torneados de mesas, caixas de som, fundos de gaveta e de armários. Também é usado na construção civil, como piso fino, rodapé, almofadas de portas, divisórias, batentes e peças torneadas em geral (IBÁ, 2015).

### 2.10.4 OSB

O OSB (*oriented strand board*) (Figura 4) é um painel formado por camadas múltiplas de tiras ou lascas de madeiras orientadas perpendicularmente em diversas camadas, com forma e espessura pré determinadas unidas por resinas e sob a ação de alta pressão e temperatura.

O OSB surgiu no Canadá, na região dos grandes lagos, notória pela abundância de Aspen (*Populus.pps*) e Pinus. Todavia, a indústria expandiu-se pelos Estados Unidos e o painel OSB ganhou notoriedade mundial. O OSB está substituindo o compensado em muitas aplicações. Estes painéis são

utilizados para aplicações estruturais, tais como paredes, suporte para piso e forro, componentes de vigas estruturais, e embalagens (REMADE, 2010).

É utilizado na construção civil em aplicações estruturais como paredes, suporte para forros e pisos, componentes de vigas estruturais, tapumes e formas para concreto também utilizado como painel decorativo e em embalagens.

Figura 4 - Chapas de OSB.



Fonte: [https:// www.madeleinet.com.br](https://www.madeleinet.com.br) (2014).

#### 2.10.5 Chapa de fibra

Chapa de fibra também chamada chapa dura (*hardboard*) (Figura. 5) resulta da prensagem a quente de fibras de madeira por meio de um processo úmido, que reativa os aglutinantes naturais da própria madeira (sem a adição de resinas) e confere ao produto alta densidade. No Brasil, a matéria-prima utilizada é madeira de eucalipto de florestas plantadas (IBÁ, 2015).

Utilizada principalmente em fundo de gavetas e de armários.

Figura 5 - Chapa dura (*hardboard*).



Fonte: [http:// www.pacificislands.com.br](http://www.pacificislands.com.br) (2014).

#### 2.10.6 Compensado

Os painéis de madeira compensada são formados por lâminas, unidas sob pressão por um agente de ligação, podendo ser feito de madeira macia (softwood) e madeira dura (hardwood) e constituído por número ímpar de camadas com sentido da grã adjacente perpendicularmente à outra (Figura 6). Suas camadas podem ser constituídas de uma única lâmina ou de duas ou mais lâminas, desde que suas grãs estejam paralelas. As lâminas podem variar no número, na espessura, na espécie e na classe de madeira. A alternância no sentido da grã nas camadas adjacentes confere ao painel estabilidade dimensional em sua largura (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999 *apud* LIMA, 2011).

O compensado estrutural, por se tratar de um painel multilaminado, é colado com resinas à prova d'água (normalmente fenol-formaldeído), para uso em condições cíclicas de alta e baixa umidade relativa, eventualmente em ação direta com a água. São empregados, principalmente, no setor da construção civil e para embalagens, O emprego da resina fenol-formaldeído nos painéis compensados confere alta resistência à ação da umidade e água, em função da sua composição química. (BALDWIN, 1995, *apud* LIMA, 2011).

Ainda, de acordo com Lima (2011), na manufatura de painéis à base de madeira, são utilizados os adesivos sintéticos como ureia-formaldeído, fenol-formaldeído, melanina-formaldeído e resorcinol.

Figura 6 - Chapas de compensado.



Fonte: [http:// www.caliman-rj.com.br](http://www.caliman-rj.com.br) (2014).



## 2.11 FORMALDEÍDO EM ESCOLAS

Os resultados obtidos durante o projeto AIRMEX (*European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment*), cujo objetivo foi identificar e quantificar os principais poluentes interiores particularmente em creches, escolas e prédios públicos, permitiram constatar que a população escolar está frequentemente exposta a níveis superiores ao NOAEL (*no observable adverse effect level*) de  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  (0,02 ppm), descrito como valor para o qual não são observáveis efeitos adversos na saúde (ALVES E ACIOLE, 2012).

Professores, professores pesquisadores, pesquisadores, funcionários e alunos (estes últimos com exposição menor) estão expostos a uma série de compostos orgânicos voláteis, em escolas, centros de pesquisa e universidades, quando estão realizando pesquisas ou simplesmente trabalhando próximo a locais onde são manuseados tais compostos.

Estudo realizado por Cavalcante *et al.* (2005) em uma universidade no Brasil avaliou a exposição ao formaldeído e ao acetaldeído em alguns ambientes acadêmicos.

As amostras foram coletadas dentro da universidade durante determinado período de tempo, com a presença de professores, professores-pesquisadores, pesquisadores, funcionários e alunos. Foram amostrados escritórios, salas de aula, laboratórios de pesquisa, laboratórios usados para aulas práticas, biblioteca, sala de impressão e ao ar livre. As amostras foram feitas nos laboratórios de química, bioquímica, fisiologia, engenharia química e processamento de alimentos, locais onde, nas aulas práticas, eram utilizados diversos compostos químicos. No escritório onde havia ar-condicionado, os níveis de formaldeído foram em torno de 79 % maiores, quando comparados com outro escritório que apresentava características semelhantes, porém, sem ar-condicionado. De acordo com Cavalcante *et al.* (2005), este aumento da concentração era esperado e devido à liberação de compostos orgânicos voláteis provenientes de materiais de construção, materiais de decoração,

produtos de limpeza, além da atividade humana, agravados pela baixa renovação de ar do ambiente onde havia ar condicionado. Os mais altos índices de formaldeído foram encontrados em laboratórios onde eram realizadas periodicamente as aulas práticas de fisiologia e química orgânica. A explicação para os níveis extremos encontrados nestes locais, segundo Cavalcante *et al.* (2005), é devido à utilização de fontes diretas de formaldeído nessas salas. Nos laboratórios, os principais fatores responsáveis por elevados níveis de formaldeído foram elevada utilização de compostos químicos e a baixa renovação do ar interior em um laboratório aumentada devido ao ar-condicionado. Quando usado o limite de exposição do NIOSH em todos os ambientes analisados houve a constatação de risco de câncer variando de médio a alto para o formaldeído (CAVALCANTE *et al.*, 2005). Este risco se aplica principalmente para professores-pesquisadores e para os técnicos que trabalham nas salas de aula, aulas práticas e laboratórios de pesquisa por normalmente 8 horas por dia ao longo de anos de atividade profissional acadêmica.

Nessa pesquisa também foi constatado que os professores que só ministram aulas práticas e ou teóricas são moderadamente expostos durante sua vida acadêmica. Os alunos, devido ao curto espaço de tempo das aulas práticas, são expostos a um pequeno risco. Os dados também mostraram que o risco de câncer é ampliado para os professores, professores pesquisadores, pesquisadores e técnicos do sexo feminino devido ao seu menor índice de massa corporal.

Os níveis de exposição em laboratórios de anatomia e patologia ainda são extremamente elevados, muitas vezes excedendo o limite de  $0,5 \text{ mg/m}^3$ , devido principalmente à evaporação de formalina utilizada para a preservação de tecidos e amostras. Um estudo descobriu que, mesmo quando os laboratórios de anatomia não estavam em uso, as concentrações mínimas de formaldeído ainda estavam acima de  $0,25 \text{ mg/m}^3$ , com alguns casos extremos de medição entre  $13,01$  e  $20,94 \text{ mg/m}^3$  (ZHANG *et al.*, 2007 *apud* TANG *et al.*, 2009).

Sodré (2006) realizou um estudo envolvendo 6 salas de aula de um complexo escolar na cidade do Rio de Janeiro, e observou que quatro salas pertencentes ao mesmo complexo escolar possuem um perfil muito semelhante para o nível de formaldeído, com valores médios de  $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,01 ppm), porém uma das salas apresentou concentração de  $701,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,47 ppm), 5,9 vezes maior que o valor máximo recomendado pela OMS para ambientes interiores não industriais. Tratando-se de crianças do pré-escolar e não adultos, os resultados indicam que essas crianças podem estar sendo expostas a concentrações perigosas de formaldeído.

## 2.12 MÉTODOS PARA AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE FORMALDEÍDO

Segundo Alves e Aciole (2012), 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 sorvente, seguido de análise em laboratório. A maioria dos métodos de amostragem (NIOSH, OSHA e EPA) captura o formaldeído na fase gasosa. 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 detecção, na duração da amostragem, nos métodos de análise laboratorial e possíveis interferências.

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. As estratégias de amostragem adotadas podem variar consoante o objetivo da medição: verificação da conformidade com os valores guia da OMS; determinação da concentração média de formaldeído ou, avaliação de picos de concentração (ALVES e ACIOLE 2012).

A falha na detecção dos problemas de QAI através de medição de parâmetros individuais não significa que o problema não exista. Há que considerar a hipótese de se ter medido um parâmetro irrelevante, ou da medição ter sido realizada no tempo inadequado, ou quando os valores limite existentes não forem detectáveis quando a presença de outros poluentes é relevante, devido aos efeitos combinados e de sinergia (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009).

Ainda segundo a mesma agência, os métodos de monitoramento podem ser categorizados por medição em tempo real ou de medições integradas. Os métodos que usam instrumentos de leitura em tempo real medem o parâmetro continuamente. Quando estes monitores são portáteis, podem ser movidos no espaço de teste, de modo a executarem medições em diversas localizações. A eficácia das medições pode variar em função do método utilizado, se for passivo ou ativo, se o instrumento for um amostrador, um analisador de medição em tempo real, ou um aparelho de leitura direta, e se a leitura é contínua ou pontual. Os amostradores passivos são simples de usar; no entanto, necessitam de análises de laboratório para determinar a concentração do contaminante. Um amostrador ativo, tal como os tubos de amostragem por colorimetria, não são dispendiosos e permitem medições pontuais no local. Esses métodos de medição simples podem ser utilizáveis por não especialistas, tal como o operador do edifício ou o gestor da propriedade. Essas medições são fáceis e rápidas de executar, tais como os instrumentos de leitura direta que podem ser empregados para a verificação das concentrações pontuais dos poluentes. No entanto, têm uma sensibilidade muito limitada para a generalidade das substâncias químicas.

Pereira *et al.* (2001) afirma ser de fundamental importância que existam métodos sensíveis, com resultados rápidos e de fácil utilização para quantificação do formaldeído presente nos ambientes. Ainda, segundo o mesmo autor, o desenvolvimento de novos métodos e ou otimização dos já existentes é de grande importância tanto do ponto de vista analítico ambiental como toxicológico.

Segundo Salthammer *et al.* (2010), há a necessidade métodos de medição de formaldeído de técnica simples e rápida e com limites de detecção apropriados para concentrações interiores.

Para Dannemiller *et al.* (2013), o estabelecimento de um método simples, rápido e barato de técnica de medição de formaldeído para uso em estudos epidemiológicos que realizam amostragem em casa encorajaria a medição contínua desse importante poluente do ar interior.

### 2.12.1 Sistemas passivos de monitoramento

Segundo Andrés *et al.* (1999), citados por Schirmer (2011), a vantagem na utilização de amostradores passivos reside no fato de que esse tipo de amostrador apresenta, inicialmente, custo baixo; é um sistema simples, desde a tomada de amostras até sua análise em laboratório, dispensando a utilização de pessoal altamente qualificado.

Comparando as técnicas de amostragem de COV, observa-se que se considerarmos praticidade, custo e simplicidade de operação, a amostragem passiva em tubos com sólidos sorventes é a mais indicada. Logo, tende a ser mais utilizada.

De acordo com Cruz e Campos (2002), para a coleta de poluentes gasosos, utilizam-se como meio coletor sólidos com elevada capacidade de sorção de poluentes gasosos. Nesse caso, admite-se que o sorvente adequado é aquele capaz de amostrar grandes volumes de ar poluído, sem causar interferências no resultado da amostragem.

São projetados para medir concentrações em níveis de ppm, para 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. Para monitoramento da qualidade do ar em ambientes internos, os amostradores passivos devem ser

posicionados aproximadamente a 1,5 metros do piso, que é a altura média das narinas dos indivíduos expostos (SCHIRMER *et al.*, 2011).

Ainda, segundo o mesmo autor, se a opção for amostragem por sorção, a escolha do sorvente para tomada de amostras deve ser condicionada, principalmente, pela afinidade entre o material sorvente e os compostos a serem amostrados.

Deve-se ter em mente que os coletores passivos normalmente são deixados no ambiente a ser analisado por dias ou mesmo semanas em cada medição, sem um acompanhamento contínuo pelo analista, e isso significa que a possibilidade de adulteração não pode ser excluída. Uma das vantagens da amostragem passiva é que a exposição relacionada à pessoa pode ser determinada de maneira simples, fazendo com que um indivíduo use o coletor passivo por um período específico de tempo (SALTHAMMER *et al.*, 2010).

O formaldeído é recolhido num meio sorvente, sendo depois realizada a análise química para determinar a sua concentração. O formaldeído irá reagir com uma substância química sorvida a dinitrofenilhidrazina (DNPH), numa matriz sólida ou líquida, dando origem a uma nova substância, colorada, sendo depois analisado por sorção em espectrofotometria na região do ultravioleta (UV) ou por cromatografia líquida acoplado com um detector UV (SALTHAMMER *et al.*, 2010).

Segundo Albuquerque e Tomaz (2006), quando se realiza a tomada de amostras, é necessário determinar a taxa de amostragem, a qual, teoricamente, varia somente em função da geometria do captor e do coeficiente de difusão do poluente no ar a ser amostrado. No entanto, na prática, algumas condições ambientais, entre elas temperatura ambiente, pressão, umidade relativa e natureza do material sorvente, podem tornar variável essa taxa. Sendo assim, devido a essas 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.

### 2.12.2 Sistemas ativos de monitoramento

Sistemas ativos de amostragem utilizam uma bomba de aspiração para forçar a passagem de ar através de um meio de coleta (ANDRÉS *et al.* 1999, *apud* SCHIRMER *et al.* 2011).

Devido à utilização de uma bomba de aspiração, o volume de ar amostrado é maior, 100 a 1000 mL min<sup>-1</sup> (EPA-6A), 100 a 2000 mL min<sup>-1</sup> (EPA TO-11A) ou 30 a 1500 mL min<sup>-1</sup> (NIOSH 2016), se comparado com os sistemas passivos (ALVES e ACIOLE, 2012). Sendo assim, pode-se admitir que a confiabilidade do sistema ativo é maior, uma vez que se conhece o volume amostrado e, conseqüentemente, a concentração do meio (ANDRÉS *et al.* 1999, *apud* SCHIRMER *et al.* 2011).

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 (cromatografia líquida de alto desempenho), com detecção por sorção na região do ultravioleta. Neste método a capacidade máxima de amostragem é de 75 µg de formaldeído, com um limite de detecção de 0,03 µg (ALVES e ACIOLE, 2012).

#### 2.12.2.1 Monitor eletroquímico

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 força a passagem do ar continuamente. O nível mínimo detectável está na faixa de 0,2 a 5 ppm (ALVES e ACIOLE, 2012).

Ainda segundo Alves e Aciole (2012), 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.

#### 2.12.2.2 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, no entanto, este método requer menos tempo de amostragem, proporcionando um bom limite de detecção 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 e ácido cromotrópico para formar um complexo púrpura cuja concentração é determinada por espectrofotometria no visível. Este método utiliza 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. No laboratório, a amostra é misturada com o ácido cromotrópico e o ácido sulfúrico, e a coloração púrpura obtida é analisada por espectrofotometria de absorção na região do visível (ALVES e ACIOLE, 2012).

#### 2.12.3 Analisadores automáticos (sensores)

Segundo Andrés *et al.* (1999), citado por Schirmer *et al.* (2011), os dispositivos automáticos, ou sensores, baseiam-se em alguma propriedade do contaminante, seja ela física ou química, que pode ser detectada e quantificada continuamente por meio de métodos óptico-eletrônicos.



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 calor, ou mudança na frequência de oscilação de um cristal. Esses 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 (GIODA E AQUINO NETO 2000, *apud* SCHIRMER *et al.* 2011).

Segundo Toda *et al.* (2005), esses sistemas são grandes e caros, e inadequados para aplicações no local.

De acordo com Mariano *et al.* (2010), as desvantagens dos sistemas anteriormente descritos também estão em termos tanto de simplicidade da amostragem, manutenção pesada ou alto custo de ambos, aparelhos e materiais de consumo.

Para Dannemiller *et al.* (2013), esses métodos requerem prolongado tempo de amostragem, equipamentos analíticos caros, e são propensos a contaminação durante o transporte e análise.

Mais recentemente, um sistema novo e portátil de baixo custo foi proposto, o método colorimétrico, mas o limite de detecção é maior do que o valor recomendado pela *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) baseada na Geórgia, que recomenda, para uma exposição crônica durante uma vida inteira, uma concentração de formaldeído tão baixo como 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ou 8 ppb (MARIANO *et al.*, 2010).

#### 2.12.4 Tubos colorimétricos

Tubos colorimétricos contêm uma substância química adsorvida numa matriz sólida ou líquida que reage na presença do formaldeído, produzindo 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 para a captação do ar. Existem tubos colorimétricos para várias faixas de sensibilidade. Para níveis de formaldeído inferiores a 0,1 ppm, este método é apenas marginalmente sensível, mas pode ser útil na identificação da presença da fonte e sua avaliação. Alguns tubos podem medir na faixa de 0,1 a 5 ppm (ALVES E ACIOLE, 2012).

Entre as vantagens para utilização de tubos colorimétricos está, além do custo em relação aos demais métodos, a inexistência de um potencial para contaminação dos tubos pelo formaldeído do ambiente durante o transporte ou a análise, porque o tubo é selado antes da amostragem. Outra vantagem é a rapidez na obtenção dos resultados que são obtidos imediatamente após a conclusão do período de amostragem, que leva entre 30 e 40 minutos.

Este método ainda tem como vantagem a possibilidade de uso de bomba manual, que não necessita de fontes de energia artificiais e possui um custo atraente.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Antes de iniciar a tomada de amostras, é preciso escolher o método de amostragem baseado em fatores relacionados a confiança, exatidão, custo e facilidade de operação do método.

Nessa pesquisa, alicerçada pela pesquisa bibliográfica, buscou-se métodos que aliassem baixo custo e rapidez na obtenção dos resultados, de modo a facilitar a medição dos níveis de formaldeído no ambiente interior.

#### 3.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Segundo Gil (2009), as pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que essas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Ainda, segundo o autor, boa parte dos estudos exploratórios pode ser definida como pesquisa bibliográfica.

Nesse trabalho, de caráter exploratório, inicialmente foi realizada pesquisa bibliográfica a partir de artigos científicos, livros e normas nacionais e internacionais, por permitir a investigação ampla do problema, assim como dos métodos existentes para detecção da contaminação do ar por formaldeído.

Ainda segundo o mesmo autor, a coleta de dados na pesquisa experimental é feita mediante a manipulação de certas condições e a observação dos efeitos produzidos.

Simultaneamente à pesquisa bibliográfica seguiu-se a pesquisa experimental em ambientes previamente selecionados, sendo escolhidos uma sala de aula construída em *wood frame* e salas administrativas recém reformadas dentro de um hospital universitário. Foi selecionada entre as variáveis a ventilação, capaz de influenciar os valores da poluição interior e que

ao mesmo tempo é passível 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.

Além dos ambientes descritos anteriormente, foram feitas medições em um laboratório de anatomia do hospital universitário onde o formaldeído é material de consumo e onde sabidamente o ar é contaminado por esse composto.

Também foram realizados experimentos em um pequeno aquário com soluções de formaldeído previamente preparadas e com concentrações conhecidas.

Em um ambiente residencial de pequena área foi colocada uma amostra de MDF cru com objetivo de verificar a presença de formaldeído nesse ambiente confinado.

Para verificação da concentração de formaldeído em diferentes amostras de painéis de madeira composta, foi ainda efetuado experimento em um laboratório acreditado pelo INMETRO para o ensaio de determinação do teor de formaldeído em painéis adquiridos no mercado local, verificadas as concentrações de formaldeído e comparadas às legislações nacionais e internacionais.

O propósito desta pesquisa não é o de proporcionar o conhecimento exato da contaminação do ar por formaldeído, mas sim uma visão global do problema no interior das edificações e de identificar possíveis fatores que possam minimizá-los.

### 3.1.1 Unidade de análise

O presente trabalho tem como unidade de análise, a poluição por formaldeído no ambiente interior decorrente da emissão por materiais de construção e ou de decoração, analisando o ambiente interior de uma

universidade, de um hospital universitário e de uma residência que possuam em seu interior mobiliários ou materiais de construção e ou de decoração constituídos de madeira composta, ou que tenham sido reformados há pouco tempo, assim como verificando a concentração de formaldeído em painéis de madeira composta vendidos no mercado local.

### 3.1.2 Testes de validade

Segundo Yin (2010), um projeto de pesquisa representa um conjunto lógico de proposições. Quatro testes, no entanto, vêm sendo comumente utilizados para determinar a qualidade de qualquer pesquisa empírica. São eles:

#### 3.1.2.1 Validade do constructo

Para verificar a validade do constructo do presente experimento foram utilizadas três táticas de acordo com o que recomenda Yin (2010).

A primeira é a análise qualitativa através de vasta pesquisa bibliográfica, utilizando várias fontes sendo as principais os artigos de periódicos, que relatam estudos em ambientes dos Estados Unidos, Itália, Suécia, França, Iugoslávia, Portugal, Coreia do Sul e Brasil onde o formaldeído foi o composto carbonílico mais abundantemente encontrado, e em concentrações que superam o limite estabelecido pela OMS.

A segunda foi a obtenção de fontes de evidências, através de no mínimo duas medições em cada ambiente, utilizando dois métodos de medição, por tubo colorimétrico e através de detector eletroquímico, de modo a identificar possíveis divergências durante a investigação, sendo essa tática relevante durante a coleta de dados.

A terceira tática foi estabelecer um encadeamento de evidências, também relevante durante a coleta de dados, com a medição primeiramente através de tubos colorimétricos em laboratório de anatomia patológica antes e durante a diluição do formaldeído, e com tubos colorimétricos e detector eletroquímico de formaldeído em dia de trabalho normal do referido laboratório, com objetivo de comparar os valores lidos nos tubos colorimétricos aos valores lidos no detector eletroquímico para comprovar a eficácia dos mesmos.

### 3.1.2.2 Validade interna

Se um estudo pode plausivelmente demonstrar relação causal entre o tratamento e os resultados, ele é referido como tendo validade interna (ROBSON 2011).

A APA (Agência Portuguesa do Ambiente), no seu Guia Técnico “Qualidade do Ar em Espaços Interiores” de 2009, afirma que o formaldeído pode ser medido através de monitores portáteis de leitura direta em ppm, por tubos colorimétricos, ou por amostragem com tubos de passivação seguido de análise em laboratório.

Ainda, segundo a APA, monitor eletroquímico é um instrumento de monitoramento da concentração de formaldeído utilizando sensores eletroquímicos de alta precisão, indica a concentração contínua e em tempo real de formaldeído no ar que é convertida diretamente em sinais elétricos onde os resultados da medição aparecem no mostrador digital em ppm.

Tubo colorimétrico de detecção é um tubo de vidro selado em ambas as extremidades com produto químico de detecção específica do gás a ser analisado. O tubo indica a concentração de gás alvo diretamente na escala impressa no tubo detector APA (2009).

De acordo com informação do fabricante o sistema de medição através de tubos colorimétricos está em conformidade com a norma europeia EN1231

para sistemas de Detector de Gás. Ainda, segundo o fabricante o tubo é certificado pela ISO 9001 e a precisão é de cerca de 90 a 95%.

Essa pesquisa pretende estabelecer uma relação causal entre o mobiliário confeccionado em madeira composta, materiais de construção e a emissão de formaldeído no ambiente interno, assim como de medidas mitigadoras para redução dos níveis de formaldeído.

### 3.1.2.3 Validade externa

Para Robson (2011) as validades interna e externa tendem a ser inversamente proporcionais, no sentido de que os vários controles impostos a fim de reforçar a validade interna, muitas vezes lutam contra generalização.

Nessa pesquisa, de caráter exploratório e em sua maior parte realizada em ambiente natural, todo o processo, desde a revisão bibliográfica e coleta de dados até as medições nos ambientes acadêmicos, foram executadas de modo a seguir padrões pré-estabelecidos a fim de que os resultados obtidos possam ser generalizados para outras áreas com as mesmas características das áreas pesquisadas.

A análise de um único ou de poucos casos de fato fornece uma base muito frágil para a generalização. No entanto, os propósitos dessa pesquisa são os de proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Adaptado de. Gil (2002).

#### 3.1.2.4 Confiabilidade

Segundo Robson (2011), confiabilidade é essencialmente uma questão de controle de qualidade. Atenção meticulosa aos detalhes, perseverança e orgulho em fazer um bom trabalho são todos muito importantes, mas a organização é a chave.

Ao efetuarmos a pesquisa de campo, essa estava contida dentro de um protocolo muito bem delineado, de modo a que outro pesquisador ao fazer a mesma pesquisa possa chegar aos mesmos resultados, desde que seguindo o mesmo protocolo de pesquisa.

#### 3.1.2.5 Rastreabilidade

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da ABNT NBR ISO 9000:2005, definiu rastreabilidade como sendo a "capacidade de recuperar o histórico, a aplicação ou a localização daquilo que está sendo considerado".

Segundo Moe (1998), a rastreabilidade é fundamental para lembrar o que já aconteceu, portanto, funciona retrospectivamente, sendo eficaz na identificação das fontes causadoras de determinado problema.

Após a conclusão do protocolo dessa pesquisa foi elaborado um sistema de registro de fácil acesso, para permitir a possibilidade de detecção de produtos ou práticas inadequadas, sendo de fundamental importância para não prejudicar toda coleta de dados.

O registro dos dados de cada medição contém nome do local, bloco, número da sala, andar, materiais utilizados com número de lotes ou outra identificação, equipamentos utilizados, descrição do ambiente, interferências, data, horário e condições climáticas.



### 3.1.3 Seleção dos espaços

Nesse experimento, sempre que possível, as medições foram realizadas apenas quando as temperaturas estavam acima de 7°C, com os ambientes desocupados e com as janelas sendo fechadas na noite anterior ao dia da medição, impossibilitando a entrada do ar exterior ou a influência de usuários através de fumaça de cigarro ou qualquer outro comportamento que pudesse vir a alterar o resultado da pesquisa. Após a medição com as janelas fechadas, procedeu-se a medição com o ambiente ventilado.

Os ambientes analisados permaneceram inalterados em relação ao uso cotidiano, portanto não houve manipulações quer de comportamentos quer de ambiente, além do relatado no parágrafo anterior.

Os ambientes foram escolhidos em função do mobiliário, dos materiais de construção, ou onde houvesse relatos de desconforto ou irritação respiratória pelos usuários; as medições tiveram o propósito de proporcionar uma primeira visão global do problema e identificar também se o fator ventilação pode influenciar a qualidade do ar nos ambientes pesquisados.

Foram selecionados espaços internos delimitados e similares em termos de material de construção ou mobiliário e que tenham uso coletivo, como por exemplo, sala de aula construída em wood frame, salas administrativas recém reformadas e com mobiliário novo em MDF. Além dos espaços descritos anteriormente foram selecionados um laboratório de anatomia patológica onde é utilizado formaldeído e um pequeno espaço residencial onde foi colocada uma placa de MDF cru.

O critério para a escolha dos ambientes analisados levou em conta primeiramente que possuam no seu interior materiais de construção ou mobiliário ou ambos em MDF, OSB, compensado e aglomerado. Nestas edificações foi verificado o tempo de ocupação informando se são edificações novas, recém-reformadas, ou com maior tempo de ocupação. O laboratório de anatomia patológica foi escolhido por utilizar o formaldeído diluído para conservação das peças.

Além dos experimentos acima descritos, foram realizados experimentos em amostras de MDF, compensado e OSB crus, no Laboratório de Madeira e Móveis do TECPAR.

O laboratório de Madeira e Móveis do TECPAR por ser acreditado pelo INMETRO para o ensaio de determinação do teor de formaldeído (método *perforator*), faz ensaios das amostra auditadas pelo Programa Setorial da Qualidade do Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ), para a determinação do teor de formaldeído dos painéis de MDF e MDP crus.

### 3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Através da pesquisa convertemos erros e acertos em conhecimento útil para a confecção de novos estudos. Cada estudo é comparável a um tijolo de uma infundável construção que é o conhecimento científico. Da solidez (reprodutibilidade) dos dados de cada estudo depende a estabilidade da estrutura maior dessa construção (conhecimento científico)<sup>14</sup>.

Segundo Yin (2010), o protocolo deve conter o instrumento, mas também os procedimentos e as regras gerais que devem ser seguidas ao utilizar o instrumento.

O protocolo explicita o objetivo básico do estudo, quais os critérios para a inclusão ou exclusão de determinado assunto e os métodos a serem seguidos. O protocolo também deve, além de tornar claro ao pesquisador quais são os seus objetivos, explicar como mensurá-los de maneira objetiva.

Nessa pesquisa, as medições para detectar o formaldeído no interior dos ambientes foram efetuadas sempre nas primeiras horas da manhã, sendo

---

<sup>14</sup> Adaptado pela autora do protocolo de pesquisa clínica do Hospital Albert Einstein, obtido no site <http://www.einstein.br/hospital/oncologia/pesquisas-cancer/Paginas/protocolos-pesquisa-clinica.aspx>, novembro 2014.

os ambientes mantidos com as janelas fechadas por um período não inferior a 12 horas.

Os tubos colorimétricos foram mantidos a 1,50 m de altura, simulando a altura da narina humana, e no mínimo a 0,50 m de distância das paredes ou do mobiliário do ambiente medido. Foi utilizada bomba manual nos primeiros experimentos. Conforme orientação do fabricante, primeiramente é testada a estanqueidade da bomba utilizando o tubo colorimétrico lacrado. Após a certeza da estanqueidade inicia-se a medição com 10 golpes na bomba manual, sendo verificado na sequência se houve alteração na cor do tubo. Se não houver alteração são dados mais 10 golpes e repetida a verificação no tubo. Essa prática foi repetida até totalizar 40 golpes na bomba. Também foi verificado, por recomendação do fabricante, que o ar que atravessa o tubo colorimétrico, o faça em no mínimo 15 segundos até que a pera da bomba esteja totalmente inflada.

Na medição efetuada com o detector eletroquímico de formaldeído esse equipamento foi ligado no ambiente exterior até atingir o equilíbrio, normalmente entre 0 e 0,04 mg/m<sup>3</sup>, o que leva alguns minutos, posteriormente o equipamento é levado ligado ao ambiente a ser medido, deixado em repouso até que o valor estabilize, normalmente em torno de 15 minutos. Após a estabilização do equipamento é realizada a leitura diretamente no mostrador digital.

No experimento realizado com peças de MDF, OSB e compensado foi utilizado método do dessecador, de acordo com a norma japonesa JIS A 1460 – 2001.

### 3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

As primeiras medições de formaldeído foram executadas no mês de junho de 2014 com tubos colorimétricos da marca MSA AUER certificados com a norma ISO 9001 (Figura 7). Esses tubos são selados e abertos apenas no momento da medição, o que descarta a possibilidade de contaminação dos tubos. Quando o ar passa pelo tubo, o formaldeído reage com fosfato de hidroxilamina alterando a cor do tubo que passa de amarelo para vermelho. A leitura da concentração de formaldeído é feita diretamente no tubo, dois minutos após a última sucção da bomba, onde o centro do tubo passa de amarelo a vermelho e o valor da concentração do poluente é função do comprimento desta alteração.

A bomba utilizada, THUMB MSA AUER, do tipo manual também da marca MSA AUER (Figura 7), que em combinação com os tubos colorimétricos é usada para medir as concentrações de formaldeído no ar. A bomba é composta por uma pera de borracha de sucção que, ao ser inflada manualmente, vai permitir a passagem de 100 mL (volume por curso da bomba), de ar pelo tubo colorimétrico detector. A bomba manual é muito leve, pesa 120 g e pequena, com comprimento de 148 mm e diâmetro de 68 mm, feita em borracha e polipropileno, é um equipamento portátil de fácil utilização e transporte.

Figura 7- Tubo colorimétrico e bomba marca MSA AUER.



Fonte: da autora.

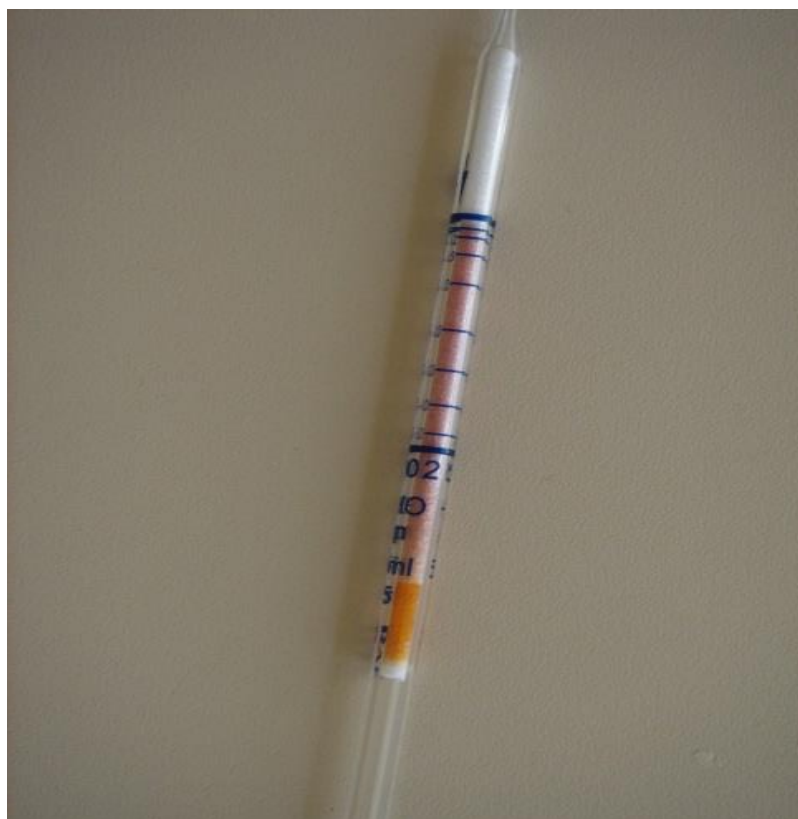
De acordo com a concentração de formaldeído a ser detectada são dados os golpes na bomba. Para detecção de formaldeído ao nível entre 1 ppm e 10 ppm, são necessários 10 golpes, para detecção ao nível de 0,1 ppm a 1 ppm, são necessários 20 golpes. Para tubos colorimétricos MSA AUER há a informação pelo fabricante, de detecção a partir de 0,04 ppm com 40 golpes.

Posteriormente, e devido aos resultados negativos obtidos com os tubos colorimétricos da marca MSA AUER, foram importados tubos colorimétricos da marca RAE Systems (Figura 8) e também detector domiciliar

eletroquímico de formaldeído (Figura 9), adquirido em site da de vendas de produtos da China e sem marca definida, com objetivo de confrontar os resultados obtidos com os primeiros tubos colorimétricos. Também foi utilizado equipamento de medição digital de umidade Minipa MTH 1360 (Figura 10).

A partir daí foram realizadas novas medições utilizando simultaneamente tubos colorimétricos das duas marcas e detector eletroquímico de formaldeído.

Figura 8- Tubo colorimétrico marca RAE Systems.



Fonte: da autora.

Figura 9 – Detector eletroquímico de formaldeído.



Fonte: Da autora tradução livre do manual de operação do Detector de Formaldeído.

Para validação do detector eletroquímico de formaldeído foi utilizado solução de formaldeído a 37%, micropipeta LABMATE com capacidade entre 20 a 200 $\mu$ l certificada com ISSO 9001 (Figura 10), e um pequeno aquário com tampa de vidro e com capacidade de 0,00754m<sup>3</sup>.

Figura 10 – Termo-higrômetro digital Minipa MTH 1360 e micropipeta LAB MATE com capacidade entre 20 e 200 µl.



Fonte: Da autora.

Foi analisada também a emissão de formaldeído por painéis de madeira composta comercializados na cidade de Curitiba, e comparados os valores com os valores indicados no detector eletroquímico de formaldeído. Nesse experimento foram utilizadas peças de madeira em MDF, OSB e compensado, dessecador, medidor eletroquímico de formaldeído, termômetro/higrômetro, proveta graduada, cuba de vidro, balão volumétrico, pipeta volumétrica, copo de bequer, solução de acetil acetona, solução de acetato de amônia, banho-maria termostático e espectrofotômetro de UV visível marca Perkin Elmer (Figura 11).



Figura 11 - Espectrofotômetro marca Perkin Elmer.



Fonte: da autora.

### 3.4 EXPERIMENTOS

A Agência Portuguesa do Ambiente (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.

Ainda segundo a Agência, 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. A monitorização ou amostragem deverá ser conduzida no local que representa as atividades ocupacionais. O local de monitorização deverá estar a pelo menos a 0,5 m das janelas, dos cantos, das paredes, divisórias, mobiliários e de outras superfícies verticais. Nos casos em que essa

preferência não pôde ser alcançada, as questões sobre a localização deverão ser devidamente documentadas. As medições também não deverão estar diretamente em baixo ou em frente aos difusores de abastecimento de ar, unidades de difusão, ventoinhas, ou aquecedores. As tomadas de amostragens devem ser colocadas a uma altura de  $1,5 \pm 0,5$  m acima do chão, altura da narina dos ocupantes.

Nessa pesquisa, sempre que possível, foram seguidas todas as recomendações da Agência Portuguesa do Ambiente, com o objetivo de documentar o valor detectado na pior condição do ambiente analisado, e quando não foi possível, as alterações em relação às recomendações da referida agência foram relatadas,.

As medições tiveram início numa sala de aula localizada em um campus universitário situado na região central de Curitiba, próximo a uma rua bastante movimentada, denominado escritório verde. Para evitar influências do ambiente exterior as janelas foram fechadas na noite anterior ao dia da medição, por volta das 18:00 horas e a medição iniciada pela manhã antes da chegada de funcionários ou de alunos, com as janelas e portas mantidas fechadas para que não houvesse interferência da poluição exterior na quantificação do formaldeído. Essa sala de aula foi construída em *wood frame* (painéis de madeira com estrutura de pinus tratado), e o ambiente foi inaugurado há cerca de 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 (Tabela 3).

Em função do resultado da detecção de formaldeído efetuada na sala de aula, onde não houve alteração na cor dos tubos colorimétricos, foi realizada quantificação do teor de formaldeído com tubos colorimétricos no laboratório de anatomia patológica do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná (HC/UFPR), localizado na região central da cidade de Curitiba, também em junho de 2014, no momento da diluição de 12 litros de

formaldeído em 114 litros de água, com objetivo de testar a confiabilidade dos tubos colorimétricos adquiridos.

No laboratório, a medida foi realizada no período da manhã, com as janelas fechadas e os equipamentos de ar condicionado desligados. Devido a impossibilidade de interrupção nos trabalhos do laboratório no período noturno as janelas foram fechadas e o ar condicionado desligado 30 minutos antes do início da diluição e conseqüentemente da primeira determinação. O ar foi medido primeiramente antes da diluição do formaldeído. Como o experimento foi realizado em um laboratório de anatomia patológica, onde o formaldeído é material de consumo, era esperado que houvesse presença de formaldeído em quantidade acima do recomendado pela OMS mesmo na primeira quantificação realizada antes da diluição do formaldeído, isso porque os doze litros da solução estavam sem tampa e portanto com o formaldeído volatilizando no ambiente. Porém após 20 sucções da bomba, foi detectado um anel vermelho na faixa de concentração entre 1 e 2 ppm (Figura 12). O tubo praticamente não apresentou alteração na cor, o que caracterizou alguma falha no resultado obtido. A medição foi refeita e não houve alteração de cor no segundo tubo. Durante a diluição do formaldeído foram realizadas novas medições no mesmo ambiente por duas vezes (Figura 13). Na medição que ocorreu durante a diluição do formaldeído o tubo permaneceu inalterado. Foi realizada nova medição 30 minutos após a diluição e também não foi detectada alteração de cor nos tubos. Sabidamente o laboratório estava contaminado pelo formaldeído que estava em processo de diluição, porém os tubos utilizados não detectaram a presença do poluente (Tabela 3).

Figura 12 – Anel vermelho no tubo MSA AUER durante medição em laboratório de Anatomia Patológica.



Fonte: da autora

Figura 13 – Detecção da concentração de formaldeído em laboratório de Anatomia Patológica durante a diluição de 12 litros de formaldeído em 114 litros de água.



Fonte: da autora.

Tabela 3 - Resultado das primeiras medições de formaldeído utilizando tubos colorimétricos da marca MSA AUER.

Data	Local	Início	Fim	Umidade	Temperatura	Resultado
10/07	Sala de aula do Escritório Verde UTFPR	8:25	8:45	94%	14°C	< 0,04ppm
14/07	Laboratório de Anatomia Patológica HC/UFPR	7:45	8:05	Não medida	20° C	1 ppm <sup>i</sup>
		8:15	8:30		21°C	Medida difusa nos dois tubos utilizados <sup>ii</sup>
		8:45	9:00		21°C	

<sup>i</sup> Antes da diluição de formaldeído formando anel vermelho no interior do tubo entre 1 e 2 ppm

<sup>ii</sup> Durante a diluição de 12 litros de formaldeído em 118 litros de água

Em contato com o fabricante do tubo colorimétrico MSA AUER, foi informado que o resultado obtido deveu-se a possibilidade de ter havido alguma interferência de outro poluente presente no ambiente.

Devido aos resultados das primeiras medidas e da resposta do departamento técnico do fabricante dos tubos colorimétricos MSA AUER, foram adquiridos novos tubos colorimétricos de outro fornecedor.

Também foi adquirido um detector eletroquímico domiciliar de formaldeído de fabricação chinesa.

O objetivo das duas aquisições (tubos de outro fabricante e detector eletroquímico), foi verificar a validade das medições anteriores e verificar a possibilidade de utilização do detector eletroquímico de formaldeído que além de ser fornecido a um custo relativamente baixo, apresenta resultados imediatos, verificados em um painel digital e sem necessidade de análise em laboratório.

As primeiras medidas com detector eletroquímico de formaldeído e com os tubos colorimétricos de ambos os fabricantes, iniciaram na sala de aula do escritório verde em 23/10/2014 (Figura 14).

A medição com detector eletroquímico, por recomendação do fabricante, foi realizada primeiramente no ambiente exterior.

As medições tiveram início às 10:00h.

Figura 14- Interior do escritório verde com estrutura em *wood frame*.



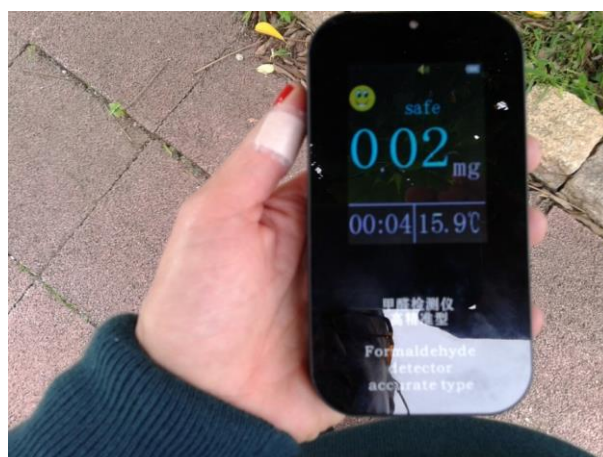
Fonte: da autora.

As janelas e portas do escritório verde foram fechadas às 18:00h 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 utilizando bomba manual MSA AUER e tubos colorimétricos das marcas RAE Systems e MSA AUER, os quais não detectaram presença de formaldeído (não houve alteração na cor dos tubos).

Na sequência foram realizadas medições com detector eletroquímico domiciliar de formaldeído, tendo cuidado de ligar o equipamento do lado externo do ambiente a ser pesquisado antes de levá-lo até a sala de aula a ser medida (Figura 15). Foi realizada primeiramente medida com as janelas fechadas (Figura 16), cujo valor de  $0,08\text{mg}/\text{m}^3$  está no limite estabelecido pela OMS para 30' de exposição. 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 % (Figura 15), com as janelas superiores abertas. Constatamos também que a concentração externa de  $0,02\text{ mg}/\text{m}^3$ , ficou bem abaixo da concentração interna (Figura 16), 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 15 - Concentração de formaldeído no ambiente exterior menor que no ambiente interior.



Fonte: da autora.

Figura 16 - Valor obtido pelo detector eletroquímico de formaldeído antes e depois da ventilação do Escritório Verde.



Fonte: da autora.



Em 23/10/2014, foi efetuada medição com detector eletroquímico e com tubos colorimétricos no laboratório de anatomia patológica do hospital universitário anteriormente medido, desta vez com o ar condicionado de parede ligado devido a haver trabalhadores no local. O resultado no detector eletroquímico de formaldeído de 0,83 mg/m<sup>3</sup> (Figura 17), 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 das marcas RAE Systems e MSA AUER, com indícios de que os tubos não são adequados para detecção nos ambientes até então pesquisados (Figura 18).

Figura 17 – Medida de formaldeído no laboratório de anatomia patológica.



Fonte: da autora.

Figura 18 - Tubos colorimétricos MSA AUER e RAE Systems após a medida em laboratório de anatomia patológica: sem alteração da cor.



Fonte: da autora.

Em 08 de outubro de 2014 foram realizadas medições no Serviço de Controle de Infecção Hospitalar (SCIH), do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná, com tubos colorimétricos de duas marcas e com detector eletroquímico domiciliar de formaldeído. As salas são localizadas em área administrativa do hospital, distantes de laboratórios ou de áreas assistenciais, onde não há interferência de produtos químicos. As salas foram escolhidas por terem sido reformadas e estavam sendo utilizadas a menos de 30 dias. O SCIH é composto por três salas: administrativa, reuniões e secretaria. À exceção da sala de reuniões, onde a mesa e as cadeiras são em madeira maciça trazidas do antigo espaço ocupado pelo serviço, nas demais salas a predominância é de mobiliário novo em MDF. A pintura das paredes das três salas foi executada com tinta acrílica semi-brilho, as portas em compensado e com lâmina de imbuia, receberam pintura com tinta esmalte sintético, o forro foi executado com placas de PVC e estrutura metálica de sustentação e no piso foram colocadas placas vinílicas.

A primeira medição, com detector eletroquímico de formaldeído, foi realizada nas salas com os funcionários e estagiários trabalhando no local, as janelas foram fechadas no dia anterior ao da detecção. Primeiramente foram determinadas as concentrações de formaldeído de todos os ambientes com as janelas fechadas e na sequência com as janelas abertas, porém com as portas

internas fechadas, não havendo comunicação entre os ambientes. Foi realizada apenas uma medição por sala para evitar que os ocupantes fossem expostos por longo tempo. Primeiramente foi medida a sala administrativa, onde trabalham 10 funcionários e estagiários em períodos que variam de 6 a 8 horas diárias e também onde há a maior concentração de mobiliário em MDF (Figura 19). O equipamento detectou concentração de 1,41 mg/m<sup>3</sup>.

Figura 19 – Sala administrativa reformada e com mobiliário novo em MDF.



Fonte: da autora.

Posteriormente foram abertas as janelas e a concentração de formaldeído diminuiu rapidamente para  $0,07 \text{ mg/m}^3$ , uma redução aproximada de 95%. Nesse dia observou-se uma redução imediata da concentração após a abertura das janelas, como causa provável o fato de haver ventilação abundante nessa sala, com quatro janelas e ventilação cruzada.

A sala de reuniões (Figura 20), com mobiliário antigo em madeira maciça, foi medida na sequência, com as janelas e com a porta de comunicação interna, ambas fechadas. O equipamento detectou concentração de formaldeído em  $0,75 \text{ mg/m}^3$ . Nova medição, com as janelas abertas, detectou redução de 94% no nível de formaldeído, passando a  $0,04 \text{ mg/m}^3$ .

Figura 20 – Sala de reuniões com mobiliário antigo em madeira.



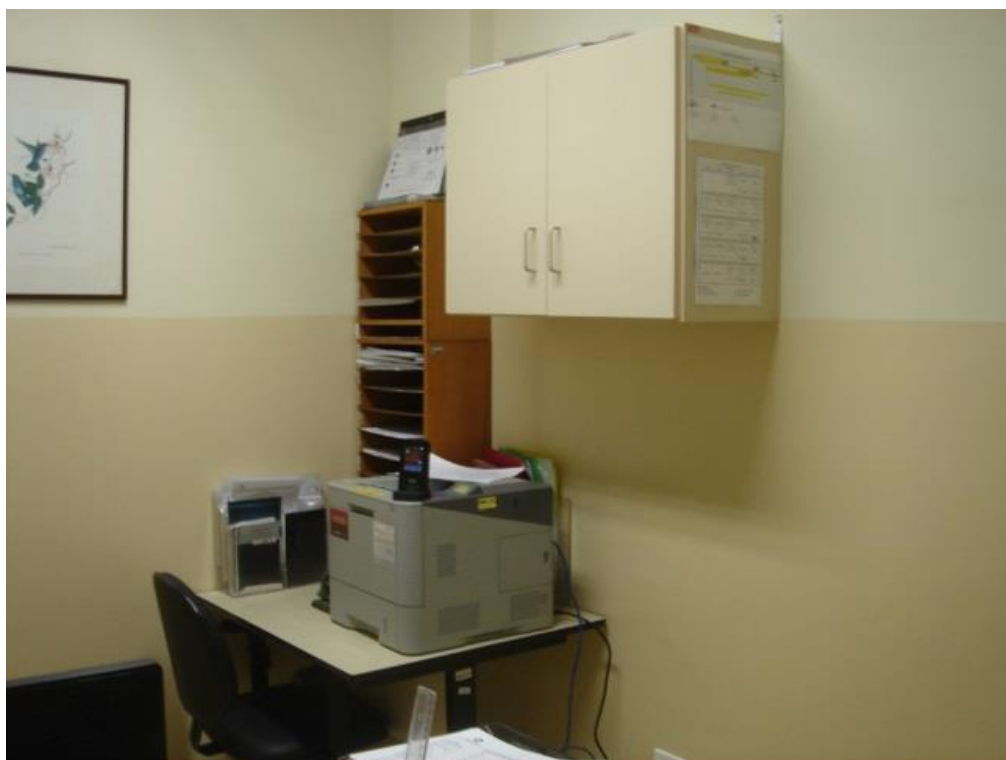
Fonte: da autora.

Por último foi realizada uma medida da qualidade do ar 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. Nessa sala há uma escrivaninha e um armário superior ambos novos e confeccionados em MDF, além de prateleiras antigas em madeira maciça (Figura 21), as portas entre os ambientes internos, únicas fontes de ventilação indireta, foram mantidas fechadas na primeira medição. O equipamento

detectou concentração de formaldeído de 0,82 mg/m<sup>3</sup>. Na sequência, com as portas internas e as janelas das salas de reunião e administrativa abertas a redução do nível de formaldeído foi de aproximadamente 93 %, passando a 0,06 mg/m<sup>3</sup>.

As medidas realizadas com tubos colorimétricos de formaldeído não provocaram alteração na cor dos tubos.

Figura 21 – Secretaria com escrivaninha e armário novos em MDF.



Fonte: da autora.

Novas medições foram realizadas nas salas do SCIH, com aproximadamente 60 dias de utilização das salas (35 dias após a primeira medição), dessa vez em um final de semana e durante dois dias, sem a presença de funcionários, para que pudessem ser realizadas várias medições em cada sala com as janelas fechadas (Figura 22) e também com as janelas abertas. As medidas foram realizadas com detector eletroquímico domiciliar de

formaldeído e com tubos colorimétricos. Também foram registrados os índices de umidade relativa do ar com equipamento de medição digital de temperatura e umidade Minipa MTH 1360. As janelas foram fechadas no dia anterior ao da medição, por volta das 19 horas. As medidas iniciaram às 9:00h do dia 08/11/2014 e foram concluídas em 09/11/2014.

As medidas de cada sala foram repetidas 7 vezes, mantendo o aparelho em cada sala por 15' e passando à sala seguinte. No primeiro dia foram realizadas 4 medidas por sala, primeiramente foram medidas todas as salas com as janelas fechadas e posteriormente com as janelas abertas. No dia seguinte, seguindo o mesmo protocolo foram feitas mais 3 medidas em cada sala.

Figura 22 – 2ª detecção realizada na sala administrativa sem a presença dos funcionários e com as janelas fechadas no dia anterior ao da medição.



Fonte: da autora.

Na sala administrativa os níveis de formaldeído com as janelas fechadas variaram de 0,47 mg/m<sup>3</sup> a 0,66 mg/m<sup>3</sup> (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultado das medições da sala administrativa do SCIH com as janelas fechadas

Medida	Umidade Relativa %	Temperatura °C	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup>
1º	67,50	22,6	0,47
2º	66,40	22,9	0,56
3º	66,10	23,0	0,58
4º	65,50	23,1	0,61
5º	64,60	23,4	0,63
6º	64,10	23,5	0,62
7º	63,90	23,6	0,66

As determinações na sala de reuniões com as janelas fechadas tiveram resultados variando de 0,26 mg/m<sup>3</sup> a 0,41 mg/m<sup>3</sup> (Tabela 5).

Tabela 5- Resultado das medições da sala de reuniões do SCIH com as janelas fechadas

Medida	Umidade Relativa %	Temperatura °C	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup>
1º	67,30	22,7	0,26
2º	65,10	23,5	0,41
3º	64,90	23,6	0,41
4º	64,90	23,6	0,38
5º	64,40	23,7	0,39
6º	64,20	23,8	0,37
7º	64,10	23,8	0,37

Na secretaria com as portas internas e externas de comunicação fechadas. Os resultados variaram de 0,29 a 0,40 mg/m<sup>3</sup> (Tabela 6).



Tabela 6- Resultado das medições da secretaria do SCIH com as portas fechadas

Medida	Umidade Relativa %	Temperatura °C	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup>
1º	67,80	22,7	0,31
2º	64,80	23,2	0,38
3º	65,60	23,1	0,39
4º	65,90	23,0	0,40
5º	65,80	23,0	0,35
6º	65,20	23,1	0,30
7º	64,70	23,1	0,29

A operação foi repetida com as janelas abertas, onde os valores de formaldeído reduziram em todas as salas (Tabelas 7, 8 e 9).

Tabela 7 - Sala administrativa do SCIH com as janelas abertas

Medida	Umidade Relativa %	Temperatura °C	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup>
1º	54,30	25,4	0,18
2º	54,80	25,2	0,11
3º	54,50	25,0	0,13
4º	55,10	24,9	0,12
5º	55,10	24,8	0,13
6º	54,60	24,8	0,13
7º	54,80	24,7	0,13

Tabela 8 - Sala de reuniões do SCIH com as janelas abertas

Medida	Umidade Relativa %	Temperatura °C	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup>
1º	58,00	23,9	0,07
2º	56,50	24,5	0,06
3º	55,30	24,9	0,06
4º	53,50	25,3	0,06
5º	53,40	25,4	0,07
6º	53,80	25,5	0,07
7º	53,20	25,5	0,06

Tabela 9 – Secretaria do SCIH com as portas abertas

Medição	Umidade Relativa %	Temperatura °C	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup>
1º	55,40	24,4	0,10
2º	56,20	24,3	0,10
3º	60,80	24,1	0,11
4º	63,60	24,1	0,09
5º	64,60	24,0	0,09
6º	65,70	24,0	0,08
7º	66,10	24,0	0,09

As medidas realizadas com tubos colorimétricos de formaldeído não provocaram alteração na cor dos tubos. Novamente constatou-se que os tubos colorimétricos não são adequados para medidas da concentração de formaldeído nos ambientes escolhidos (figura 23).

Figura 23 - Tubos colorimétricos MSA AUER e RAE Systems após a medida na sala administrativa do SCIH: sem alteração da cor.



Fonte: da autora.

### 3.4.1 Experimentos com chapa de MDF

Posteriormente às medições realizadas em ambientes caracterizados pela utilização de mobiliário ou de sistema construtivo utilizando madeira composta e que, no caso da sala do SCIH havia sido reformado a pouco tempo, foi realizado experimento em um lavabo de uma residência com área de 1,50 m<sup>2</sup>, com objetivo de medir unicamente a contaminação provocada por um painel de madeira composta.. No lavabo, com o piso em granito, paredes em azulejo até o teto, esquadria da janela em madeira maciça, foi colocado um painel de MDF cru adquirido no comércio local com 15 mm de espessura e área de 1,0 m<sup>2</sup>. No lavabo foram fechados o ralo, o vaso sanitário e a válvula do lavatório para impedir a entrada de gases resultantes do esgoto o que poderia influenciar na detecção da emissão do formaldeído proveniente do painel de MDF. As medidas foram realizadas com detector eletroquímico de formaldeído com as janelas fechadas instantes antes da colocação do painel. A medida antes da colocação do painel foi de 0,00mg/m<sup>3</sup> e 2 horas após a colocação do painel no lavabo com a janela fechada foi de 0,57 mg/m<sup>3</sup> (Figura 24).

Quando o painel de MDF é colocado no lavabo, o detector de formaldeído rapidamente acusa valor superior ao recomendado pela OMS para ambientes internos.

Como nas medições anteriores, após a medição com a janela e a porta fechada, ambas foram abertas e rapidamente o valor indicado pelo detector diminuiu cerca de 96%, exatamente como nos experimentos anteriores (Figura 25).

Figura 24 – Medida do ar com a janela e porta fechadas, antes da colocação do painel e após 2h.



Fonte: da autora.

Figura 25- Valor medido com a janela aberta.



Fonte da autora.

A janela e a porta foram fechadas após as primeiras medidas com as janelas fechadas e abertas, e várias medições foram realizadas num período de três semanas (Tabela 10). O maior valor de contaminação do ar por formaldeído detectado no lavabo foi de 1,20 mg/m<sup>3</sup>, 48 horas após a colocação do painel no lavabo. A temperatura registrada foi de 25 °C, a maior temperatura registrada no experimento com painel de MDF. Os valores medidos com 72 horas e até 504 horas após a colocação do painel no lavabo permaneceram inalterados em 0,80 mg/m<sup>3</sup>. Todos os valores medidos com o painel de MDF no lavabo indicaram valores de formaldeído muito elevados, o que pode servir como um alerta para a necessidade de realização de avaliações dos painéis em MDF comercializados em Curitiba. Também constatou-se que o maior valor detectado na maior temperatura confirma o contido na revisão bibliográfica com a relação direta entre elevação de temperatura e aumento da emissão do formaldeído no ambiente interior como constatado pelo *Center for Disease Control and Prevention*.

Tabela 10 – Medição no lavabo com detector eletroquímico onde foi colocado um painel de MDF cru

Medida	Tempo de exposição h	Temperatura °C	Concentração de formaldeído mg/m <sup>3</sup>
1º	0	22,9	0,00
2º	2	22,9	0,57
3º	24	24,8	0,91
4º	36	23,9	0,99
5º	48	25,4	1,20
6º	72	24,1	0,80
7º	168	22,9	0,80
8º	336	23,0	0,80
9º	504	23,8	0,80

Nesse ambiente também foram realizadas medidas com os tubos colorimétricos das marcas RAE Systems e MSA AUER, a medida 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 marca Eletrolux modelo BOSSH onde os tubos colorimétricos foram embutidos em rolha cortada na medida do bico do aspirador e selada com fita adesiva (Figura 26). Apesar de fugir ao protocolo da pesquisa, a utilização do aspirador de pó manual teve como objetivo verificar se com o aumento da quantidade de ar passando pelos tubos colorimétricos haveria detecção do formaldeído presente no ambiente.

A medida no lavabo com os tubos colorimétricos aspirados por aspirador manual foi realizada com 36 e 48 h após a colocação do painel de MDF, quando o detector de formaldeído atingiu valor aproximado ou maior que 1,00 mg/m<sup>3</sup>. Em ambas as medições com os tubos das marcas RAE Systems e

MSA AUER, não houve alteração na cor dos tubos. O medidor eletroquímico detectou  $0,99 \text{ mg/m}^3$  e  $1,20 \text{ mg/m}^3$  de formaldeído no ambiente.

Figura 26 – Tubo colorimétrico com aspirador de pó portátil utilizado como bomba de sucção



Fonte: da autora

### 3.4.2 Experimentos com diluições no aquário

Com objetivo de confirmar a exatidão do detector eletroquímico de formaldeído, foram realizados experimentos em um aquário onde foram colocadas diluições de formaldeído previamente preparadas.

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 %.



Em um aquário com dimensões internas de (0,20 x 0,29 x 0,13) m ou volume de 0,0075 m<sup>3</sup> foi colocado 0,05 ml da solução de formaldeído a 37,25%. O aquário foi tampado com uma placa de vidro. A capacidade do detector eletroquímico de formaldeído indicada no manual do fabricante é de 3,00 mg/m<sup>3</sup>, portanto não havia necessidade de ser considerada a evaporação total da gota, porque iria ultrapassar o limite de detecção do aparelho. Primeiramente foi medido o ar exterior ao aquário conforme instrução do fabricante. Ao fazer a medição por pelo menos cinco vezes foi constatado que o limite do detector eletroquímico domiciliar não é 3,00 mg/m<sup>3</sup>, mas 2,49 mg/m<sup>3</sup> (Figura 27). Quando chega nesse valor o equipamento zera automaticamente. O experimento foi realizado em novembro de 2014.

Figura 27 – Experimento no aquário e valor máximo medido pelo detector eletroquímico de formaldeído antes de zerar o equipamento.



Fonte: da autora

Novo experimento teve início com a diluição de 0,05 ml da solução de formaldeído à 37,25 % em 500 ml de água (solução n<sup>o</sup>1). A solução n<sup>o</sup>1 foi

diluída tomando-se 0,05 ml da solução nº1 e diluindo em 500 ml de água resultando a solução nº2. A solução nº3 foi obtida diluindo 0,10 ml de solução de formaldeído a 37,25 % em 500 ml de água. A quarta solução foi obtida diluindo 0,15 ml de formaldeído à 37,25 % em 500 ml de água. Após as diluições concluídas, foi colocado 0,05 ml de cada uma das soluções no aquário fechado e realizadas as medidas das concentrações de formaldeído dentro do aquário após a evaporação total da gota. O experimento foi repetido três dias depois para todas as soluções. A ordem de colocação das gotas foi da menor concentração para a maior concentração, para evitar que resíduos de uma grande concentração saturasse o aquário. Os resultados das concentrações de formaldeído lidos no detector eletroquímico de formaldeído e o valor calculado estão na Tabela 11.

Tabela 11- Valores da concentração de formaldeído em aquário medido em 08/04/2015 e 11/04/2015, comparados aos valores calculados

C ( µg/L)	Massa (mg) de formol em 50µL	Valor calculado (mg/m <sup>3</sup> )	Valor medido em 08/04/2015 (mg/m <sup>3</sup> )	Valor medido em 11/04/2015 (mg/m <sup>3</sup> )
41	$2,02 \times 10^{-3}$	0,27	0,17	0,16
$4,1 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-7}$	$2,7 \times 10^{-5}$	0,07	0,12
81	$4,07 \times 10^{-3}$	0,54	0,54	0,22
122	$6,11 \times 10^{-3}$	0,81	0,48	0,31

Na sequência foi realizado novo experimento onde foi diluída 0,05 ml de solução de formaldeído em 250 ml de água dando origem a solução nº 1. Foram feitas três medições; com uma, duas e três gotas no aquário (Tabela 12).

Tabela 12- Valores da concentração de formaldeído em aquário medido em 13/ 04/2015 comparados aos valores calculados

C ( $\mu\text{g/l}$ )	Massa	Valor calculado ( $\text{mg/m}^3$ )	Valor medido ( $\text{mg/m}^3$ )
81	$4,04 \times 10^{-3} \text{ mg/50 } \mu\text{l}$	0,54	0,38
81	$8,08 \times 10^{-3} \text{ mg/100 } \mu\text{l}$	1,08	0,72
81	$12,13 \times 10^{-3} \text{ mg/150 } \mu\text{l}$	1,62	0,86

Os resultados obtidos em ambos os experimentos indicam que com o aumento da concentração do formaldeído no aquário aumentam também os valores indicados no detector eletroquímico de formaldeído e quando o equipamento é retirado do aquário e levado a um local onde não haja presença de formaldeído o valor detectado baixa rapidamente chegando a valores como  $0,02 \text{ mg/m}^3$ . Os valores obtidos pelo equipamento não coincidem com os valores calculados.

### 3.4.3 Experimentos com peças de MDF, OSB e Compensado

Com objetivo de avaliar a emissão de formaldeído por painéis de madeira composta comercializados na cidade de Curitiba, iniciamos nova pesquisa no Laboratório de Madeiras e Móveis do Centro de Tecnologia de Materiais do TECPAR.

O experimento foi realizado de acordo com a norma JIS A 1460 – 2001 *Building boards determination of formaldehyde emission – dessicator method* (determinação da emissão de formaldeído de painéis de construção – método dessecador). De acordo com a norma, as peças da madeira escolhidas devem ter 15 cm de comprimento, 5cm de largura e espessura variável. O número de peças é definido de modo que a área da superfície exposta seja de no mínimo  $1800 \text{ cm}^2$  conforme equação nº1.

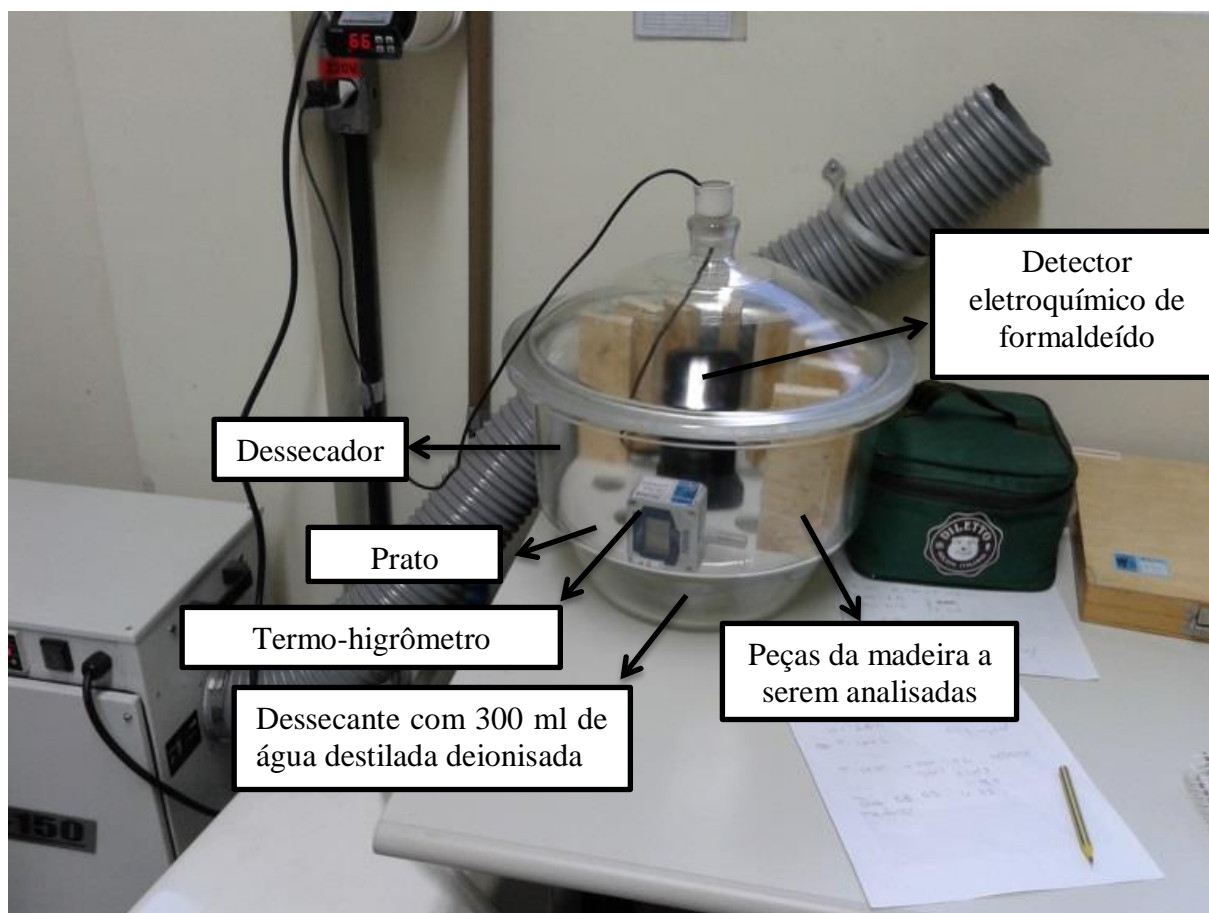
$$As = C \times L \times 2 + C \times E \times 2 + L \times E \times 2 \geq 1800\text{cm}^2 \quad (1)$$

Onde, C = comprimento da peça de madeira, L = largura da peça de madeira, E = espessura da peça de madeira, As = área da superfície exposta da peça de madeira.

Para o experimento foram utilizados dessecador, medidor eletroquímico de formaldeído, termo-higrômetro, proveta graduada, cuba de vidro, balão volumétrico, pipeta volumétrica, copo de bequer, solução de acetil acetona, solução de acetato de amônia, banho-maria termostático, espectrofotômetro de UV visível, MDF cru com dimensões de 5 x 15 x 1,2 cm (10 peças), OSB com dimensões de 5 x 15 x 1,5 cm (9 peças) e compensado com dimensões 5 x 15 x 1,5 cm (9 peças).

No fundo do dessecador (dessecante) foi colocada uma cuba de vidro com 300 ml de água destilada deionizada, separada das peças de madeira a serem analisadas pelo prato do dessecador. Sobre o prato foram colocadas as peças de madeira, o termo-higrômetro, e o detector eletroquímico de formaldeído, esse último ligado na tomada. O conjunto foi deixado fechado por vinte e quatro horas (Figura 28)

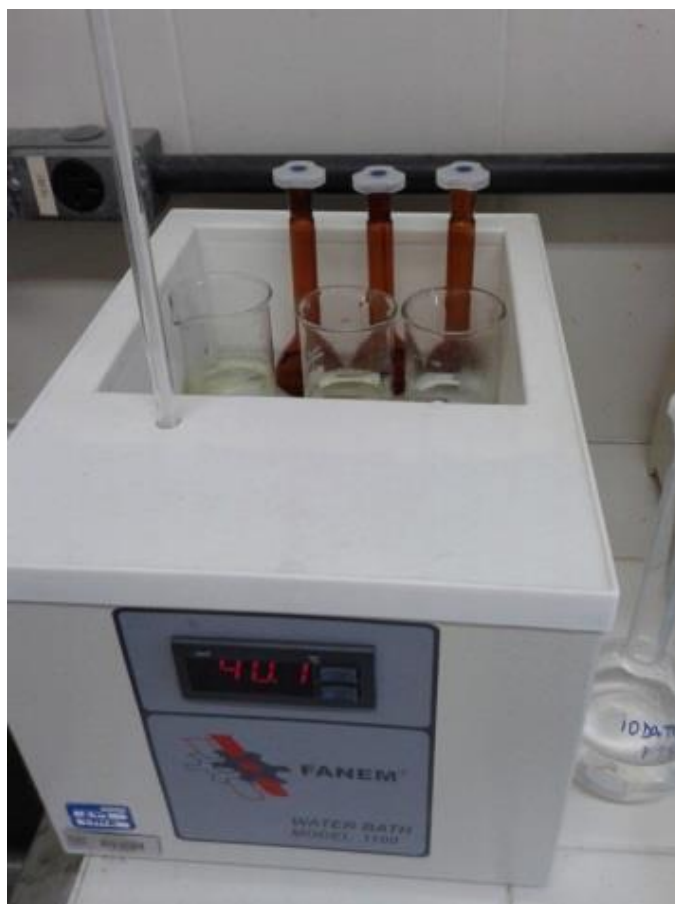
Figura 28-Instalação do dessecador com o medidor eletroquímico de formaldeído



Fonte: da autora.

Após o período de 24 h a amostra (líquido da cuba de vidro), que absorveu o formaldeído emitido pelos painéis, foi transferida para um copo de bequer e pipetada para dois balões volumétricos (de modo a obter amostras em duplicata para leitura no espectrofotômetro), na proporção de 25 ml da amostra, 25 ml de solução de acetil acetona e 25 ml de solução de acetato de amônia. Os balões são colocados em banho maria a 40 °C por 15 minutos (Figura 29). Em seguida foram transferidos para um local escuro e deixados repousando por uma hora (método acetil acetona).

Figura 29- Balões com amostras em banho maria



Fonte: da autora.

Após o repouso a amostra foi colocada no espectrofotômetro da marca Perkin Elmer.

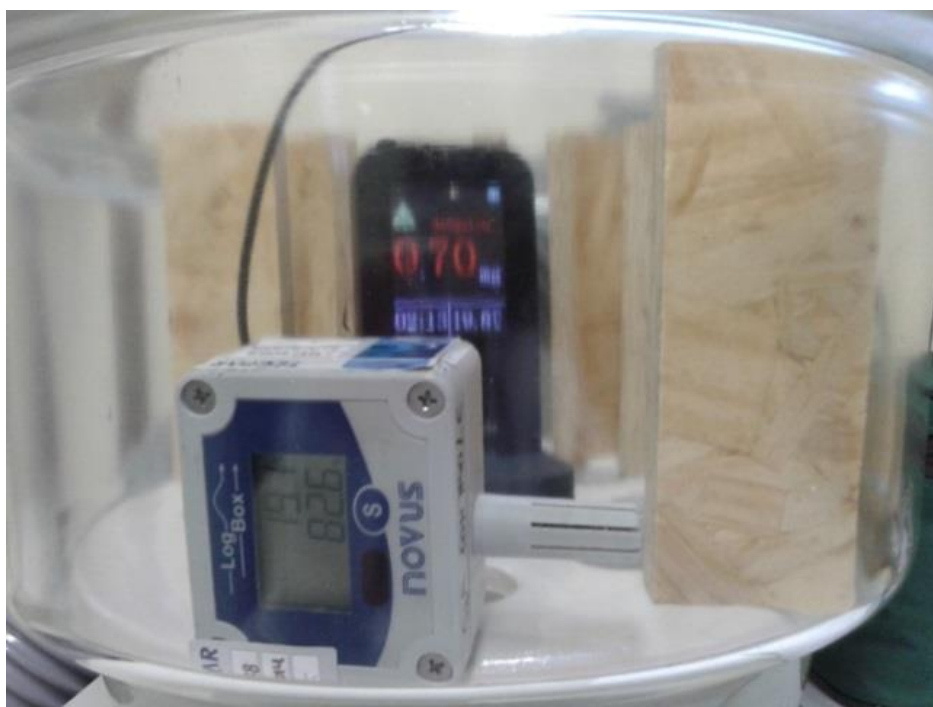
A classificação de acordo com a norma japonesa JIS A 5905 – 1994 (*Japanese Industrial Standard*), da quantidade de descarga de formaldeído para que o MDF tenha classificação E<sub>2</sub> é de 5 mg/L (Tabela13). O valor lido no espectrofotômetro para a amostra de MDF foi de 9,27 mg de formaldeído por litro de água, portanto o MDF adquirido no comércio local está fora de norma. O detector eletroquímico de formaldeído atingiu o valor máximo do equipamento (2,49 mg/m<sup>3</sup>), em 15 minutos, e em seguida zerou, indicando valor superior ao recomendado pela OMS para exposições de curta duração que é de 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

Tabela 13 - Classificação segundo a norma JIS A 5905 – 1994

Tipo	Símbolo	Quantidade de descarga de formaldeído
Tipo E <sub>0</sub>	E <sub>0</sub>	0,5 mg/L ou menos
Tipo E <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	1,5 mg/L ou menos
Tipo E <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	5,0 mg/L ou menos

Os 9 corpos de prova em OSB medindo 15 cm x 5 cm x 0,15 cm foram colocados no dessecador (Figura 30). Devido ao carácter exploratório desse experimento, e a indisponibilidade de norma específica para OSB, nesse experimento foi utilizada a norma JIS para MDF.

Figura 30 - Nove corpos de prova de OSB colocados no dessecador junto com o detector eletroquímico de formaldeído. Valor detectado após 24h de repouso



Fonte: da autora.

O valor lido no espectrofotômetro foi de 0,3891 mg/L, o valor do detector eletroquímico após 24 horas foi de 0,70 mg/m<sup>3</sup> de ar. O valor do detector eletroquímico de formaldeído está muito acima do recomendado pela OMS.

Não há norma para análise de painéis de OSB no Brasil. O TECPAR não possui norma para emissão de formaldeído a partir de OSB pelo método do dessecador.

Nove corpos de prova em compensado foram colocados no dessecador, onde o detector eletroquímico de formaldeído rapidamente atinge o valor máximo( 2,49mg/m<sup>3</sup>), e zera (Figura 31).

O TECPAR não possui norma para verificação da concentração de formaldeído para compensado pelo método do dessecador (JAS 233). Nesse experimento foi utilizada a norma JIS para MDF.

Figura 31 - Experimento com nove corpos de prova de compensado. O detector eletroquímico de formaldeído atinge o valor máximo e zera em seguida.



Fonte: da autora.



Após 24h as peças de madeira foram retiradas do dessecador juntamente com a amostra, sendo a amostra transferida para um copo de bequer e reservada.

O dessecador foi ventilado e em seguida foram colocadas três peças de compensado no dessecador para verificar o valor detectado pelo equipamento eletroquímico. O detector atingiu o nível máximo e zerou em aproximadamente 15 minutos.

Em função do resultado do detector com três peças, decidiu-se realizar a verificação com apenas uma peça de compensado no dessecador. Em aproximadamente duas horas a concentração de formaldeído no dessecador extrapolou a capacidade do detector eletroquímico de formaldeído e o equipamento zerou.

O valor de formaldeído com as duas diluições foi de 20,62 mg de formaldeído por litro de água. Valor muito acima da norma que define para compensado E<sub>2</sub> valor  $\leq 1,5$  mg/L.

Conforme comprovado pelo método do dessecador os painéis de MDF e compensado comercializados em Curitiba podem estar fora de norma. Para o OSB o valor foi o menor entre os painéis analisados, porém não há parâmetros disponíveis para comparação.

### 3.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

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 do SCIH onde os maiores valores foram medidos na sala com maior densidade de mobiliário em MDF. 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* a 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.

No experimento com a chapa de MDF em pequeno ambiente residencial a concentração elevada também era esperada, considerando que ao entrar no ambiente o odor característico do formaldeído era rapidamente percebido, e comprovando o contido na revisão bibliográfica. As medições nesse local foram realizadas com alguma dificuldade, devido a esse odor. Novamente a concentração diminuiu sensivelmente com a abertura da janela e da porta.

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.

Com relação aos experimentos efetuados no aquário para verificação da precisão do detector eletroquímico de formaldeído, não foi comprovada sua precisão, assim como não foi confirmada sua imprecisão. No experimento pode-se confirmar que o equipamento detecta o formaldeído e que quando o ambiente é ventilado a concentração de formaldeído diminui.

Nos experimentos com as peças de MDF, OSB e compensado adquiridas no comércio de Curitiba, verificou-se que a emissão de formaldeído

pelos painéis está acima dos valores normatizados. O compensado foi o painel com maior concentração de formaldeído

Em todos os experimentos ao retirarmos o detector eletroquímico de formaldeído do ambiente contaminado ou ao ventilarmos o ambiente, rapidamente os valores detectados diminuem, chegando a zero ao ar livre, porém o zero do equipamento não quer dizer que o formaldeído inexistente no local medido, mas que existe em concentração inferior ao que o equipamento pode detectar.

#### 4 MEDIDAS MITIGADORAS

A presença de formaldeído nos ambientes pesquisados leva a necessidade de implantação de medidas mitigadoras.

Segundo Hodgson *et al.*(2002), práticas de custo relativamente baixo podem ser implementadas durante a construção para melhorar a qualidade do ar interior. Estas práticas são destinadas a reduzir as 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.

A pesquisa realizada em ambientes distintos mostrou a presença de formaldeído em concentrações preocupantes principalmente nos ambientes reformados recentemente e que possuem em seu interior mobiliário em madeira composta. Nesses ambientes foi constatado que a ventilação é um potente redutor da concentração de formaldeído desses ambientes chegando a reduzir a presença do contaminante em mais de 90%. 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, e se possível que as mesmas sejam abertas antes do início do expediente de trabalho independente da condição meteorológica do ambiente exterior, principalmente nos primeiros meses após a reforma ou a instalação do mobiliário em madeira composta.

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 fora dos locais de trabalho e ou estudo.

## 5 PROPOSTA DE LEGISLAÇÃO PARA O BRASIL

No Brasil placas de madeira composta devem atender às normas da ABNT que permite fabricação de placas com concentração de formaldeído de até 30 mg / 100 g para painéis de partículas de média densidade (ABNT NBR 14810-2 : 2013, publicada em 11 de novembro de 2013) e de até 30 mg/100 g para painéis de fibra de média densidade (ABNT NBR15316-2:2015 , publicada em 12 de março de 2015 com validade a partir de abril de 2015), classificados como E2, quando a tendência mundial é a certificação de painéis classificados com até 8 mg/100 g ou classificação E1.

Nos EUA em 2010 foi instituída pelo senado lei federal cujo título “Normas para o formaldeído a partir de produtos de madeira composta” (*Formaldehyde Standards for Composite Wood Products*), assinada pelo Presidente Obama em 7 de julho, estabelece limites para emissões de formaldeído em produtos compostos de madeira: compensado de madeira, placas de fibras de madeira de média densidade e aglomerado de partículas. Até essa data apenas o estado da Califórnia havia adotado medidas para proibir a utilização e comercialização de produtos de madeira composta e de mobiliário ou outros produtos que utilizassem madeira composta. As normas de emissão espelham normas previamente estabelecidas pelo Conselho de Recursos Atmosféricos da Califórnia, para os produtos vendidos, colocados à venda, fornecidos e utilizados ou fabricados para venda na Califórnia. Já estão sendo comercializados nos EUA painéis de madeira composta sem adição de resina a base de formaldeído, onde são utilizadas resinas feitas a base de soja, acetato de polivinilo ou di-isocianato de metileno. Apesar das leis para a emissão do formaldeído pelas placas de madeira composta os EUA ainda não possuem limites de formaldeído para o ambiente interior.

Faz-se necessário a criação de legislação específica para emissão máxima de formaldeído dos painéis de madeira composta fabricados no Brasil ou importados, assim como para aquisição de mobiliário e de peças de decoração ou de acabamento que contenham madeira composta na sua

constituição. A legislação americana adota valores máximos de emissão para placas de compostos de madeira que utilizam resina a base de formaldeído valor não superior a 0,08 ppm. Esse valor poderia ser adotado em legislação nacional.

Também seria importante rever a NR 15 quanto aos valores máximos de exposição para 48 horas de trabalho semanal. Como sugestão poderia ser adotado o valor da ANSES de 0,25 mg/m<sup>3</sup> de exposição de longo prazo e 0,5 mg/m<sup>3</sup> para exposição a curto prazo.

## 6 CONCLUSÃO

Independente dos resultados das medições ou dos experimentos, fica clara a necessidade de elaboração de legislação específica para valores máximos de exposição ao formaldeído no Brasil. As leis deverão ser aplicadas aos fabricantes de painéis de madeira composta e aos importadores de painéis de madeira composta e de artigos de construção e de decoração que utilizem madeira composta na sua composição.

Com a comprovação de que o formaldeído é um importante agente cancerígeno e gatilho de asma, mesmo em pequena concentração e existindo no Brasil o Programa Setorial da Qualidade implementado pela IBÁ e reconhecido pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat, do Ministério das Cidades, onde produtores de painéis de madeira composta que participam do programa são auditados desde 2011, é importante que órgãos públicos da administração federal, estadual e municipal somente adquiram mobiliário e artigos de decoração em madeira composta comprovadamente produzidos com matéria prima de empresas que façam parte do Programa Setorial da Qualidade e que possuam a certificação do programa com classificação E1 quanto ao teor de formaldeído.

Também se faz necessária a revisão da NR 15 tornando de prática obrigatória o uso de EPI para níveis inferiores aos atuais níveis de exposição .

Com essas medidas serão reduzidos os índices de morbidade e de doenças ocasionadas pela exposição ao formaldeído, reduzindo conseqüentemente a perda de dias de trabalho, custos com saúde pública e com pagamento de aposentadorias precoces.

## 7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas lacunas restaram ao final desse trabalho que podem ser preenchidas por pesquisas científicas futuras tais como:

Pesquisa da emissão de formaldeído de mobiliário em madeira composta, através de sistemas ativos de medição, em imóveis residenciais recém mobiliados, incluindo dormitórios, onde as pessoas passam no mínimo 8 horas diárias.

Estudo da contaminação ambiental pelos equipamentos de ar condicionado, especialmente em hospitais, laboratórios e indústrias alimentícias decorrente do transporte de fungos e bactérias.

Simulação em tunel de vento da contaminação por aspergillus devido às micro partículas provenientes da poeira de obras no interior ou próximas a hospitais.



## 8 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.

ALBUQUERQUE, E. L.; TOMAZ, E. Validação da amostragem passiva de BTEX na atmosfera de São Paulo, Brasil. **Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 30, Punta del Este, 26-30, nov. 2006.

ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Quim. Nova**, vol. 35, nº 10, 2025-2039, ago. 2012.

ANDREINI, B. P. et al. Aldehydes in the atmospheric environment: evaluation of human exposure in the north-west area of Milan. **Microchemical Journal**, vol. 67, 11-19, dez. 2000.

ANSES - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Les valeurs limites atmosphériques pour les agents chimiques en milieu professionnel. Abril 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). <http://www.abipa.org.br/numeros.php> . Acesso em: 6 abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Partículas de Madeira (MDF) e Painéis de Fibra de Madeira. Texto de referência, abr. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2** Norma Brasileira - Painéis de partículas de média densidade, parte 2- Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15316-2** Norma Brasileira - Painéis de fibras de média densidade, parte 2- Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000:2005** Norma Brasileira – Sistema de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário. ABNT, 2015.

BELL, M.L.; DAVIS D.L.; FLETCHER, T. A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution. **Environ Perspect Health**, 112 (1), 6-8, jan. 2004;

BELO, C.A.V.F. **Avaliação da Exposição Profissional ao Formaldeído e Xileno no Serviço de Anatomia Patológica dos Hospitais da Universidade**

**de Coimbra.** Dissertação de Mestrado em Saúde Ocupacional Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, 2011.

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.

BIAZUS, A.; DA HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Painéis de Madeira MDP e MDF Mercado e Competitividade. **Revista da Madeira**, n136, jul. 2013.

BOLOGNESI, L. **Quantificação de formaldeído em extrato aquoso obtido da emissão de painéis de madeira por espectrofotometria acoplada à injeção em fluxo.** Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Química, Curso de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.2010.

BORAN, S.; USTA, M.; GÜMÜSKAYA, E. Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 31 674–678, jun. 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat.** [http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos\\_simac\\_psq2.php?id\\_psq=116](http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psq2.php?id_psq=116). Acesso em: 06 abr.2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução N 9 de16 de janeiro de 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema DATASUS. Acesso em: 6 abr. 2013. [http://portal.saude.gov.br/portal/saude/Gestor/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=28166](http://portal.saude.gov.br/portal/saude/Gestor/visualizar_texto.cfm?idtxt=28166)

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3523 de 28 de agosto de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, 31/08/1998. Seção 1;40-42.

BRASIL. Ministério da Saúde. Caderno de Atenção Básica. Doenças Respiratórias Crônicas. Brasília, 2010. Acesso em: 6 abr. 2013. [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas\\_respiratorias\\_cronicas.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf)

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 15 (NR15)**, de 08 de junho de 1978.

BRUCE, N; PADILLA, R. P.; ALBALAK, R. The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries. **World Health Organization Protection of the Human Environment Geneva.** 2002.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do ar interno.** Texto técnico. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo,1999. ISSN 1413-0386.

CAVALCANTE, R. M. et al. Exposure Assessment for Formaldehyde and Acetaldehyde in the Workplace. **Indoor Built Environ** 14; 165 –172, set. 2005

COELHO, M. C. S.D.M. **O formaldeído em ambiente laboral: determinação do ácido fórmico em urina de trabalhadores de uma fábrica produtora de formaldeído**. Dissertação de Mestrado em Toxicologia Analítica, Clínica e Forense. Faculdade de Farmácia Universidade do Porto, 2009.

COELHO, M. S. Z. S. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internação por doenças respiratórias em função das condições meteorológicas na cidade de São Paulo**. Tese de doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas Universidade de São Paulo, 2007.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. Amostragem passiva de poluentes atmosféricos. Aplicação ao SO<sub>2</sub>. **Quim. Nova**, v 25, n 3, 406-411, mai.2002.

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.

DINGLE, P.; FRANKLIN, P. Formaldehyde levels and the factors affecting these levels in homes in Perth, Western Australia. **Indoor Built Environ**, 11:111–116, mar. 2002.

Environmental Protection Agency (EPA), acesso em: 8 abr.2013.  
<http://www2.epa.gov/aboutepa/>

Environmental Protection Agency (EPA), Program Needs for Indoor Environments Research (PNIER). Mar. 2005.

EUA. Califórnia Environmental Protection Agency, Airborne Toxic Control Measure – ATCM. California Air Resources Board. Dez. 2007.

FANGER, P. O. What is IAQ? **Indoor Air**; 16: 328–334, mar. 2006.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Química Nova**, v. 26 n 03, set./out. 2003.

GODOI, R H M. et al. Indoor Air Quality Assessment of Elementary Schools in Curitiba, Brazil. **Water Air Soil Pollut: Focus** (2009) 9:171–177. SPRINGER.

GOMES, A. B. O; KUWAHARA, M. Y. Custos de saúde associados à poluição do ar em ambientes internos: possibilidades da valorização econômica ambiental. **Revista Jovens Pesquisadores** ano V, n 8, jan. / jul. 2008.

HANOUNE, B. et al. Formaldehyde measurements in libraries: comparison between infrared diode laser spectroscopy and a DNPH-derivatization method. **Atmospheric Environment**, n 40: 5768 -5775, mai. 2006.

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 ÀRVORES (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>.

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>

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

JANTUNEN, M. et al. Indoor air pollution exposure. **Indoor Air Quality and Health Effects** Projeto n. SSPE-CT-2004-502671, dez. 2008.

JÄRNSTRÖM, H. et al. Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland. **Atmospheric Environment**, v. 40, p. 7178–7191, dez. 2006.

KIM, K. W. et al. Formaldehyde and TVOC emission behaviors according to finishing treatment with surface materials using 20 L chamber and FLEC. **Journal of Hazardous Materials**, n 177, p. 90–94, set. 2009.

KOISTINEN, K. et al. The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. European Commission – **Joint Research Center Journal** compilation, n. 63. P. 810–819, mar.2008.

KOTZIAS, D.; GEISS, O; TIRENDI, S. Valutazione dell'esposizione totale a benzene e formaldeide nei paesi europei. **Epidemiologia & Prevenzione** Anno 29 supplemento (5-6), set/dez. 2005.

LEVIN, H. National Programs to Assess IEQ Effects of Building Materials and Products. **Building Ecology Research Group**. EPA. Set. 2010.

LIMA, N. N. **Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da Amazônia**. Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, do Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Doutor. Lavras. 2011

MADDALENA, R. et al. **Aldehyde and other volatile organic chemical emissions in four FEMA temporary housing units – final report**. Berkeley National Laboratory. Environmental Energy Technologies Division, nov. 2008.

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.

MARTINS, A. O. **Influência de materiais de revestimento de pavimentos na qualidade do ar interior em termos de compostos orgânicos voláteis**. Dissertação de mestrado Departamento de Química Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Porto, Janeiro 2003.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Biblioteca Digital. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Rio de Janeiro, mar. 2008.

MENDELL, M. J. Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: a review. **Indoor Air** n.17, p. 259–277, ago. 2007.

MEYER, B.; BOEHME, C. Formaldehyde emission from solid wood. **Forest Products Journal** v. 47, n. 5, p. 45-48, mai. 1997.

MISSIA, D. A. et al. Indoor exposure from building materials: A field study. **Atmospheric Environment**, n. 44, p.4388-4395, nov. 2010.

MOE, T. Perspectives on traceability in food manufacture. **Trends in Food Science & Technology**, n. 9, p. 211-214. 1998.

MOREIRA, C. S. Métodos de Preparação Industrial de Solventes e Reagentes Químicos – Formaldeído. **Revista Virtual de Química** ISSN 1984-6835 Volume XX Número XX, mai. 2015.

MORGAN, K.T. A brief review of formaldehyde carcinogenesis in relation to rat nasal pathology and Human health risk assessment. **Toxicologic Pathology**, v. 25, mai.1997.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Pocket guide to chemical hazards – Formaldehyde. Abril, 2011.

Norma Europeia (1995) [EN ISO 8402:1995, ponto 3.16], o Comitê Europeu de Normalização (CEN).

OLIVEIRA, M.M.S.C. **Qualidade do Ar: A comunicação na construção do conhecimento científico e na promoção da mudança.** Dissertação de Mestrado em Comunicação e Educação em Ciência, Departamento de Ambiente da Universidade de Aveiro, 2010.

Occupational Safety & Health Administration - OSHA,  
[https://www.osha.gov/OshDoc/data\\_General\\_Facts/formaldehydefactsheet.html](https://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/formaldehydefactsheet.html)  
Acessado em: 06 mar. 2014

PARK, J.S.; IKEDA, K. Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes. **Indoor Air**, n.16, p.129–135, 2006.

PEREIRA, E. A.; CARDOSO, A. A.; DASGUPTA, P.K. Gota suspensa para avaliação de aldeído total no ar interno e externo do ambiente. **Química Nova** n. 4, jan. 2001.

PINTO, M; FREITAS, V. P.; VIEGAS, J. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO. **Engenharia e Vida** n.38, set. 2007.

PIZZI, A., MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesive Technology (2nd ed.)**. New York: Marcel Dekker. ISBN: 978-0-8155-1533-3. 2003.

PLATTS-MILLS, T. A. E., et al. Changing concepts of allergic disease: The attempt to keep up with real changes in lifestyles. **J Allergy Clin Immunol**, n. 98 p. 297-306, dez. 1996.

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.

PORTUGAL. Laboratório da Qualidade do ar Interior da Universidade do Porto. [http://paginas.fe.up.pt/~lqai/lqai\\_home.html](http://paginas.fe.up.pt/~lqai/lqai_home.html) . Acessado em: 8 mai. 2014.

Protocolo de pesquisa clínica do Hospital Albert Einstein,  
<http://www.einstein.br/hospital/oncologia/pesquisas-cancer/Paginas/protocolos-pesquisa-clinica.aspx>. Acessado em 11 nov. 2014.

REVISTA DA MADEIRA. Caracterização física de painél de OSB - oriented strand board. **REMADE**, n. 125, nov. 2010.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for users of social research methods in applied settings**. 3ª edição, 2011.

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.

SCHMID, A. L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Pacto Ambiental Curitiba 2005.

SILVA, B. A. **Superfícies em madeira e qualidade do ar: um estudo sobre os produtos e tratamentos associados ao uso da madeira no ambiente construído e as práticas de especificação dos arquitetos paranaenses**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2012.

SILVA, G. V. A. **Estudo de Emissões de COVs por Materiais usados em Interiores de Edifícios**, Tese de Doutorado Submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2000.

SODRÉ, E. D. **Avaliação da qualidade do ar do interior de locais públicos – formaldeído, acetaldeído e acetona**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 2006.

SODRÉ, E. D. et al. Principais carbonilas no ar de locais públicos no Rio de Janeiro. **Quim. Nova**, v. 31, n. 2, p. 249-253, 2008.

TANG, X. et al. Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects **Environment International**, n. 35, p. 1210–1224, jul. 2009.

TODA, K. et al. Portable system for near-real time measurement of gaseous formaldehyde by means of parallel scrubber stopped-flow absorptiometry. **Analytica Chimica Acta**, v.531, p. 41-49, fev.2005.

VIEGAS, S.P.C. **Estudo da exposição profissional a formaldeído em laboratórios hospitalares de anatomia patológica**. Tese de doutorado em Saúde Pública na especialidade de Saúde Ambiental e Ocupacional Universidade Nova de Lisboa, 2010.

VIEGAS, S. P.C.; PRISTA, J. Formaldeído em habitações domésticas: contaminação ambiental e potenciais fontes. **Saúde & Tecnologia**, p. 10-16, nov. 2011.

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.

WOLKOFF, P.; KJAERGAARD, S. K. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. **Environment International**, n. 33, ago. 2007.

WONG, L.T.; MUI, K.W.; HUI, P.S. A statistical model for characterizing common air pollutants in air-conditioned offices. **Atmospheric Environment**, n. 40, p. 4246-4257, jul. 2006.

YIN R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman; 2010.

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.