



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JANAINA DE SOUZA MOREIRA COSTA

**ESTUDO SOBRE ALDEIDO E MATERIAL PARTICULADO
EM AR INTERNO DE FÁBRICA DE MÓVEIS**

Londrina
2016

JANAINA DE SOUZA MOREIRA COSTA

**ESTUDO SOBRE ALDEIDO E MATERIAL PARTICULADO
EM AR INTERNO DE FÁBRICA DE MÓVEIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina – UEL, Centro de Ciências Exatas – Departamento de Química, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Química.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Cristina Solci

Londrina
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C837e Costa, Janaina de Souza Moreira.

Estudo sobre Aldeído e material particulado em ar interno de fábrica de móveis /
Janaina de Souza Moreira Costa. – Londrina, 2016.
72 f. : il.

Orientador: Maria Cristina Solci.

Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Londrina, Centro
de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Química, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Química atmosférica– Teses. 2. Compostos carbonílicos – Teses. 3.
Acetaldeído– Teses. 4. Indústria de móveis - Poluição. – Teses. 5 Ar - Qualidade–
Teses. I. Solci, Maria Cristina. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro
de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Química. III. Universidade
Estadual de Maringá. IV. Título.

CDU 54:577.4

JANAINA DE SOUZA MOREIRA COSTA

**ESTUDO SOBRE ALDEIDO E MATERIAL PARTICULADO EM AR
INTERNO DE FÁBRICA DE MÓVEIS**

Dissertação de mestrado, apresentado a Universidade Estadual de Londrina – UEL, Centro de Ciências Exatas – Departamento de Química, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Química conferida pela banca examinadora formada pelos professores.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Cristina Solci
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof .Dr. Carlos Alberto P. da Camara
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof ^aDr^a Leila Droprinchinski Martins
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
-UTFPR

Londrina, 12 de dezembro de 2016.

Dedico esse trabalho a meu marido,
pelo incentivo e pelas colaborações e
apoio sempre, minha filha minha
motivação maior.

AGRADECIMENTOS

Deus que esta acima de todas as coisas por me conceder forças e coragem para seguir em frente e percorrer o caminho até aqui.

A minha orientadora Dr^a Maria Cristina Solci por todo o apoio prestado e por possibilitar esse processo, além da sua competencia indiscutível sua particular preocupação com todos da equipe, humana acima de tudo. Agradeço pela oportunidade e pelo crescimento pessoal e profissional que pude obter durante esse processo, por suas incansáveis colaborações que foram cruciais para o sucesso desse trabalho, e por fim pela paciência.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós Graduação (mestrado) da Universidade Estadual de Londrina.

Ao Ismael Amador pelos conhecimentos transmitidos, pelas incansáveis explicações e principalmente pela predisposição a ajudar sempre. As demais que considero amigas de verdade que foram companheiras de todas as horas Carla Estefani, Andreia Montani e Debora Rejane.

Não menos especial meus agradecimentos às pessoas responsáveis pela minha vida, por minha educação e por ser base e a essência do que sou nunca poderei agradecer o suficiente Dona Maria de Lourdes (mãe) e senhor Silvano (pai).

A meu marido Elpidio principal incentivador e entusiasta desse processo, minha filha Heloisa a mais querida filha que uma mãe pode ter, apesar de sua pouca idade tão compreensiva tornou esse processo mais leve.

Em geral agradeço a todos do LACA que ajudaram nas campanhas e na troca de experiências.

Agradecimentos ao empresário que cedeu espaço na fábrica de móveis e aos funcionários pela colaboração, possibilitando a coleta das amostras em Arapongas – PR.

“O estudo em geral, a busca da verdade e da beleza são domínios em que nos é consentido ficar crianças toda a vida”.

Albert Einstein

COSTA, Janaina de Souza Moreira. **Estudo sobre aldeídos e material particulado em ar interno de fábrica de móveis**. 2016, 72. Dissertação de mestrado (Mestrado em Química). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

A qualidade do ar em ambientes internos vem sendo objeto de preocupação e organizações e instituições procuram soluções para amenizar os efeitos nocivos de diversos poluentes presentes no ambiente de trabalho. Alguns poluentes estão diretamente relacionados ao processo de fabricação de móveis, como o formaldeído presente no processo de fabricação das placas de MDF, principal matéria-prima para fabricação de móveis, e partículas conhecidas como material particulado provenientes dos processos operacionais dentro da fábrica. Este trabalho tem como objetivo verificar os níveis de concentração de formaldeído e acetaldeído, do material particulado em uma indústria de móveis, bem como calcular a dose média de exposição individual ao material particulado. Foi avaliada a qualidade do ar interno para identificar os impactos na saúde dos trabalhadores. Este estudo se deu por meio de uma pesquisa de estudo de caso, que avaliou a concentração de formaldeído, acetaldeído, partículas suspensas em diferentes tamanhos utilizando os impactadores MP₁₀ *low-vol* e os ciclones MP_{2,5} e MP_{1,0} no ar em ambiente interno de uma Indústria de móveis; A concentração média obtida para os acetaldeído foi 11±6 ppb e para formaldeído foi de 80±33 ppb. A maior concentração encontrada para acetaldeído foi (21 ppb), formaldeído (136 ppb). Para o MP_{1,0} obteve-se concentração média de 143±4 µg m⁻³, para MP_{2,5} a concentração média de 474±43 µg m⁻³ e MP₁₀ a concentração média de 2426±45 µg m⁻³. A concentração média de exposição individual calculada para o MP_{1,0} foi 0,7 µg/kg/dia, o MP_{2,5} foi 4,0 µg/kg/dia e MP₁₀ 18 µg/kg/dia . Por fim, observou-se que pelos resultados encontrados para acetaldeído e formaldeído estão dentro dos padrões estabelecidos pelas legislações adotadas como parâmetro neste trabalho. Entretanto o material particulado apresentou níveis superiores ao estipulado nas legislações consultadas.

Palavras-chave: MDF-Ambiente interno. Aldeídos. Material Particulado.

COSTA, Janaina de Souza Moreira. **Study aldehydes and coarse and fine particulate matter in occupational environment and its relation to air quality furniture factory indoor.** 2016 72. Master's Thesis (Master in Chemistry). State University of Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

Air quality in indoor environments has been a concern and organizations and institutions are seeking solutions to mitigate the harmful effects of various pollutants present in the work environment. Some pollutants are directly related to the furniture manufacturing process, such as formaldehyde present in the manufacturing process of MDF boards, the main raw matter for the manufacture of furniture, and particles known as particulate matter from the operational processes inside the factory. This work aims to verify the levels of formaldehyde and acetaldehyde concentration of particulate matter in a furniture industry, as well as to calculate the average dose of individual exposure to the particulate matter. Indoor air quality was assessed to identify impacts on workers' health. This study was carried out through a case study study that evaluated the concentration of formaldehyde, acetaldehyde, suspended particles in different sizes using MP₁₀ low-vol impactors and cyclones MP_{2.5} and MP_{1.0} in the indoor air of a furniture industry; The average concentration obtained for acetaldehyde was 11 ± 6 ppb and for formaldehyde was 80 ± 33 ppb. The highest concentration found for acetaldehyde was 21 ppb, formaldehyde 136 ppb. For MP_{1.0}, the mean concentration of the lungs was 143 ± 4 $\mu\text{g m}^{-3}$, the MP_{2.5} concentration was 474 ± 43 $\mu\text{g m}^{-3}$ and the MP₁₀ concentration was 2426 ± 45 $\mu\text{g m}^{-3}$. The mean individual exposure concentration calculated for MP_{1.0} was 0.7 $\mu\text{g/kg/day}$, MP_{2.5} was 4.0 $\mu\text{g / kg / day}$ and MP₁₀ was 18 $\mu\text{g/kg/day}$. Finally, it was observed that the results found for acetaldehyde and formaldehyde are within the standards established by the legislations adopted as parameter in this work. However, the particulate material had levels higher than those stipulated in the legislations consulted.

Key words: MDF-Indoor environment. Aldehydes. Particulate Matter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figura 1 - | Reação entre o 2,4-DNPH e aldeído..... | 25 |
| Figura 2 - | Componentes básicos de um cromatografo líquido | 26 |
| Figura 3 - | Sistema respiratório simulando as regiões de deposição das partículas de acordo com o diâmetro | 29 |
| Figura 4 - | Localização da Fábrica de Móveis em Araçatuba – PR vista satélite..... | 34 |
| Figura 5 - | Posição dos amostradores no galpão da fábrica..... | 35 |
| Figura 6 - | <i>Layout</i> com a posição dos amostradores no galpão da fábrica | 36 |
| Figura 7 - | Filtros impregnados com KI posicionados na entrada de ar dos conjuntos Amostradores..... | 43 |
| Figura 8 - | Cromatograma tridimensional utilizando a solução padrão certificado de 07 aldeídos | 45 |
| Figura 9 - | Princípio de funcionamento de um ciclone para coleta de material particulado MP _{1,0} e MP _{2,5} | 46 |
| Figura 10 - | Impactador MP ₁₀ <i>low-vol</i> | 47 |
| Figura 11 - | Ciclone MP _{2,5} | 48 |
| Figura 12 - | Ciclone MP _{1,0} | 49 |
| Figura 13 - | Curva de referência do formaldeído e acetaldeído..... | 50 |
| Figura 14 - | Cromatograma curva de referência - (1-formaldeído, 2-acetaldeído, 3-propionaldeído, 4-isobutiraldeído, 5-butiraldeído, 6-isovaleraldeído,7-valeraldeído) e espectro do formaldeído..... | 51 |
| Figura 15 - | Conjunto de amostradores para coleta de formaldeído e acetaldeído..... | 52 |
| Figura 16 - | Cromatograma cartucho 01 primeiro da série (6 – 2,4 DNPHo,7-formaldeído, 8-acetaldeído)..... | 53 |
| Figura 17 - | Cromatograma cartucho 02 cartucho em série (5-2,4 DNPHo, 6-formaldeído, 7-acetaldeído)..... | 54 |
| Figura 18 - | Espectro cromatográfico do derivatizante 2,4 DNPH, formaldeído e Acetaldeído | 55 |
| Figura 19 - | Concentrações diárias de FA e AA obtidos nos ciclos de amostragem em Agosto de 2015 | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 20 - Média diária de temperatura (T) (°C) e umidade relativa (UR) (%) no interior da fábrica | 57 |
| Figura 21 - Concentração de material particulado em $\mu\text{g m}^{-3}$ nas frações $\text{MP}_{1,0}$ $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} amostradas diariamente no ambiente interno | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Limites de tolerância nacionais (1) e internacionais (2) para os poluentes formaldeído e acetaldeído..... | 23 |
| Tabela 2 - Limites nacionais (1) e internacionais (2) para MP _{1,0} , MP _{2,5} e MP ₁₀ | 33 |
| Tabela 3 - Intensidade do relacionamento de coeficientes de correlação positivos e negativos | 40 |
| Tabela 4 - Condições cromatográficas utilizadas nas determinações de formaldeído e acetaldeído em ar ambiente na indústria de móveis em (agosto de 2015)..... | 44 |
| Tabela 5 - Resultados obtidos nas análises cromatográficas dos padrões dos compostos carbonílicos | 49 |
| Tabela 6 - Intervalo de concentração (ppbv e mg m ⁻³), valor médio (ppbv e mg m ⁻³) e desvio-padrão (ppbv e mg m ⁻³) de formaldeído e acetaldeído no interior da fábrica de móveis..... | 52 |
| Tabela 7 - Perfis diários de emissões de formaldeído e acetaldeído provenientes do ar atmosférico interior da indústria de móveis..... | 55 |
| Tabela 8 - Correlação entre as variáveis estudadas..... | 58 |
| Tabela 9 - Relação dos resultados obtidos na análise gravimétrica de MP obtidos na campanha entre os dias 11 a 14 e 17 de agosto de 2015 | 59 |
| Tabela 10 - Taxa de exposição calculada considerando uma vazão de respiração de 15,2 m ³ por dia adotando uma média de 80 kg por individuo | 62 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Acetaldeído
FA - Formaldeído
CC – Compostos carbonílicos
CLAE – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV - Compostos Orgânicos Voláteis
EPA - United States Environmental Protection Agency
EPI - Equipamentos de Proteção Individual
EPC - Equipamento de Proteção Coletiva
EUA - United States of America
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IAP - Instituto Ambiental do Paraná
IARC - Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer
IDLH - Immediately Dangerous to Life or Health
KI - Iodeto de potássio
LACA – Laboratório de Análises dos Componentes do Ar
LD – Limite de detecção
LPQ – Laboratório de Pesquisa em Química
LQ – Limite de quantificação
MDF - Medium Density Fiberboard
MP – Material particulado
MP₁₀ – Material Particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm
MP_{2,5} – Material Particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm
MP_{1,0} – Material Particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 1,0 µm
NR – Norma Regulamentadora
NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health
OMS – Organização mundial da saúde
OSHA - Occupational Safety and Health Administration
PUF - Partículas ultrafinas
PR - Paraná
SEMA - Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SIMA – Sindicato de móveis de Araçatuba

SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná

THF - Tetrahydrofuran

THF – Tetrahydrofuran

TPS – Total de partículas em suspensão

UF - Urea-Formaldehyde

WHO - World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

Km – Quilômetro

Km² – Quilômetro quadrado

L h⁻¹ – Litro por hora

μm – Micrometro

μL - Microlitro

μg m⁻³ – Micrograma por metro cúbico

mg m⁻³ – Miligrama por metro cúbico

mm - Milimetro

ppm – Partes por milhão

ppb – Partes por bilhão

μg – Micrograma

nm – Nanometro

2,4-DNPH – 2,4-dinitrofenilhidrazina

CH₃CN -Acetonitrila

CH₂Cl₂ . Diclorometano

C₂H₆O - Etanol

-CH₃ - Metila

-C₄H₉- Butil

-C₈H₁₇ - Octila

C₁₈H₃₇ - Octadecano

(-C₆H₅) - Fenil

[(-CH₂)₃NH₂] – Butil amina

[(-CH₂)₃CN] – Butil ciano

H₃PO₄ - Ácido Fosfórico

H₂O – Água

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 1.1. OBJETIVOS..... | 19 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA..... | 20 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 21 |
| 2.1. FORMALDEÍDO..... | 21 |
| 2.2. MÉTODO ANALÍTICO PARA DETERMINAÇÃO DE ALDEÍDOS..... | 24 |
| 2.3. TIPOS DE CROMATOGRAFIA LÍQUIDA..... | 27 |
| 2.4. MATERIAL PARTICULADO..... | 28 |
| 3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS..... | 33 |
| 3.1. LOCAL DE AMOSTRAGEM..... | 33 |
| 3.2. PREPARO PARA ANÁLISE GRAVIMÉTRICA..... | 37 |
| 3.3. ANÁLISE EXPOSIÇÃO E DOSE RECEBIDA..... | 38 |
| 3.4. TEMPERATURA E UMIDADE..... | 39 |
| 3.5. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO..... | 39 |
| 3.5.1. Linearidade..... | 40 |
| 3.5.2. Limite De Detecção..... | 41 |
| 3.5.3. Limite De Quantificação..... | 41 |
| 3.6. PREPARO CARTUCHOS SEP-PAK C18 PARA ANÁLISE ALDEÍDOS..... | 42 |
| 3.6.1. Preparo Das Armadilhas De Ozônio..... | 42 |
| 3.6.2. Montagem Dos Conjuntos Amostradores..... | 43 |
| 3.6.3. Extração E Análise De Formaldeído E Acetaldeído..... | 44 |
| 3.7. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA..... | 45 |
| 3.7.1. Impactador Mp ₁₀ Low-Vol..... | 47 |
| 3.7.2. Ciclone MP _{2,5} | 47 |
| 3.7.3. Ciclone MP _{1,0} | 48 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 49 |
| 4.1. RESULTADOS DO FORMALDEÍDO E ACETALDEÍDO..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO | 58 |
| 4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA..... | 59 |
| 4.4. DOSE DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL | 62 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 64 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 66 |
| ANEXO | 72 |

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem leis e normas que orientam as empresas quanto à forma correta de preservar a higiene e saúde ocupacional no ambiente de trabalho. Esta preocupação que está diretamente associada à vida humana levanta questões específicas de como cada segmento industrial deve se comportar para melhorar as condições do ambiente ao qual o trabalhador está exposto. O nível de alguns poluentes comuns do ar é muitas vezes maior no ar do ambiente interno do que no ambiente externo e como a maioria dos trabalhadores passam a maior parte do tempo em lugares fechados, a exposição aos poluentes é um problema ambiental relevante.

Conforme Gupta & Bhandari (2011) e Zabiegala (2006) as pessoas estão expostas a uma série de riscos para a saúde associada a poluição do ar. Há uma variedade de poluentes que se apresentam em suspensão na zona inferior da atmosfera, o que pode causar efeitos graves à saúde humana. Algumas fontes de poluentes do ar podem ser listadas como: a combustão do carvão, emissões veiculares, fumaças industriais, etc. A maioria das pessoas ficam quase 80% do seu tempo em ambientes fechados e muitas vezes o ar de interiores de casas, escritórios e outros edifícios podem ser mais seriamente poluído do que o ar exterior.

Os poluentes podem ser divididos em primários ou secundários, isto é, primário emitido diretamente para atmosfera, e secundários que se formam ou são oriundos de reações que ocorrem na atmosfera a partir dos poluentes primários. Os poluentes atmosféricos ocorrem ao ar livre ou ambientes internos, e podem ser naturais ou provocadas pelo homem. A poluição do ar, às vezes chamada de poluição do ar ambiente, ocorre tanto em áreas urbanas como rurais, embora uma mistura diferente de poluentes do ar pode ser encontrada no campo e na cidade. Poluentes atmosféricos urbanos típicos das atividades realizadas pelo homem incluem óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, hidrocarbonetos e material particulado (WHO, 2011).

Em ambiente interno existem algumas fontes poluentes significativas incluindo, por exemplo, lareiras, materiais de isolamento térmico, móveis, colas, produtos de limpeza, outros produtos de consumo, e várias fontes biológicas - por exemplo, ácaros, fungos e bactérias. Poluentes químicos importantes incluem os

produtos de combustão tais como o dióxido de nitrogênio, partículas finas, e monóxido de carbono, o formaldeído a partir da emissão mobiliário constituído de placas de MDF(GODFAURD, et. al.,2010).

O impacto na saúde da poluição do ar depende do tipo de poluente, a sua concentração no ar, do tempo de exposição, e da susceptibilidade individual. Pessoas com enfermidades respiratórias preexistentes e outras doenças crônicas, estão são mais afetadas pelos agentes poluidores (ZABIEGALA 2006).

Os efeitos na saúde vão desde pequena irritação nos olhos e do sistema respiratório superior à doença respiratória crônica, doença cardíaca, câncer de pulmão e morte. Também tem sido associado ao agravamento das condições de pessoas com doença cardíaca ou doença pulmonar preexistente. Entre os asmáticos, a poluição do ar tem agravado a frequência e gravidade dos ataques. Tanto no curto prazo e no longo prazo exposições também têm sido associadas com mortalidade prematura e redução da expectativa de vida (Muhamedagic & Muhamedagic, 2010).

De acordo com Godfaurd, et. al. (2010) considera que apesar dos progressos significativos realizados em toda a Europa na redução das emissões antrópicas dos principais poluentes do ar, a saúde humana e o meio ambiente ainda é afetada pela má qualidade do ar.

Considerando a legislação vigente e a importância de assegurar a saúde dos trabalhadores e a qualidade do ar, este projeto tem como objetivo verificar a distribuição do material particulado fino e grosso bem como a presença de aldeídos no ar interior em uma indústria de móveis durante o período de trabalho.

1.1. OBJETIVOS

- Este trabalho tem por objetivo medir e avaliar no ar interior de uma pequena fábrica de móveis os seguintes poluentes:
- Verificar a presença e a concentração de formaldeído e acetaldeído no ar interno.
- Comparar os resultados de concentração do formaldeído e acetaldeído com limites de exposição ocupacionais, comparando padrões de agências de proteção ambientais nacionais e internacionais.
- Verificar presença e concentração de material particulado nas frações de $MP_{1,0}$, $MP_{2,5}$ e MP_{10} .
- Comparar os resultados de concentração de material particulado nas frações de $MP_{1,0}$, $MP_{2,5}$ e MP_{10} com limites de exposição, comparando padrões de agências de proteção ambientais nacionais e internacionais.
- Calcular a dose potencial de exposição em média por indivíduo no ar ambiente interno nas frações $MP_{1,0}$, $MP_{2,5}$ e MP_{10} .

1.2. JUSTIFICATIVA

Como mencionado acima, a poluição do ar tem impactos adversos sobre a saúde e sobre os ecossistemas, são inúmeras as fontes de contaminação do ar de ambientes internos. Tendo em vista a importância do monitoramento da qualidade do ar de ambientes internos o objetivo é estudar a qualidade do ar do ambiente interno em uma indústria de móveis, através da investigação do material particulado e de poluentes orgânicos voláteis como: formaldeído e acetaldeído.

O setor de móveis utiliza várias matérias-primas e, como tal, gerador de quantidade significativa de resíduos sólidos, líquidos e atmosféricos. A classificação dos resíduos depende, excepcionalmente, do tipo de processo industrial.

Podem ser citados entre os resíduos sólidos da empresa, basicamente, à serragem e sobras de material (madeira, compensado, MDF e fórmica), além de cola, silicone, lixa e adesivos, utilizados na fabricação dos móveis. Como líquidos, citam-se solventes orgânicos, tinta, catalisador, removedor, tingidor e laca, empregados no processo de colagem e pintura. Dentre os diversos resíduos sólidos existentes na fábrica, os resíduos de maior geração são os de madeira, como pó, e aparas de painéis.

O estudo em questão está baseado numa indústria de móveis, empresa familiar de pequeno porte localizada no município paranaense de Arapongas, situada em um polo industrial. Empregando vinte e cinco funcionários, tem como atividade a produção de móveis e não se difere das micro e pequenas empresas da região.

A empresa estudada possui sistema de exaustão, cada equipamento conta com sistema de exaustão acoplado, sendo acionadas assim que as mesmas entram em operação, a instalação desses equipamentos visa melhorar a qualidade do ar interno. Uma das contribuições desse trabalho será investigar se o sistema implantado nessa empresa é capaz de capturar o material particulado nas frações $MP_{1,0}$, $MP_{2,5}$ e MP_{10} a níveis ocupacionais seguros ao trabalhadores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.FORMALDEÍDO

Atualmente em algumas indústrias de produção de móveis são utilizadas chapas de Aglomerado e *Medium Density Fiberboard* (MDF – Fibra de madeira de média densidade), produzida a partir de madeira de reflorestamento como pinus, eucalipto e madeira seca. Os móveis e outros produtos de interiores, tais como, subpisos, painéis centrais das portas, e móveis são desenhados, em seguida as chapas são cortadas, aplainadas, lixadas, perfuradas, pintadas e montadas. Durante este processo os trabalhadores são diretamente expostos ao ar impregnado com material particulado. Esta cadeia de operações ocorre em ambiente fechado sendo que as lixadeiras e o setor de pintura contam com sistema de exaustão denominado EPC (equipamento de proteção coletiva). Os EPC são longos tubos instalados que através de um esquema de sucção recolhem as partículas produzidas. Já os trabalhadores utilizam equipamentos de proteção respiratória individual (EPI) para proteger a saúde respiratória (MACIEL, 2012).

No processo produtivo de móveis é possível verificar uma considerável concentração de poeiras e material particulado dos mais diversificados tipos e tamanhos, provenientes do lixamento da madeira ou de chapas que foram anteriormente tratadas com produtos químicos.

Já o processo de produção dos painéis de MDF inclui principalmente o desfibramento mecânico da madeira (transformação dos cavacos em fibras), refino das fibras, secagem, a mistura das fibras com resina, formação de colchão de um material resinado e prensagem a quente. As resinas mais utilizadas são à base de ureia-formaldeído, melanina-ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. REMADE (2014).

Baird (2010) define que o formaldeído é um poluente orgânico importante encontrado em ar de interiores e trata-se de um constituinte da atmosfera, em quantidades e nível de traço, bastante difundido, pois ele ocorre como um intermediário estável na oxidação do metano e de outros compostos orgânicos voláteis (COV). Sua concentração no ar externo é relativamente pequena: cerca de 0,01 ppm nas áreas urbanas, em contrapartida no ar de interiores o formaldeído

gasoso chega em média, a cerca de 0,10 ppm e em certos casos excedendo 1,00 ppm.

Poluentes, tais como, formaldeído e acetaldeído são emitidos para o ambiente interno a partir do material de construção e de produtos de construção, as maiores fontes antrópicas que afetam os seres humanos no ar interior são os produtos que contêm formaldeído, tais como resinas, colas, material isolante, painel de madeira esse ultimo recentemente tem ganhado grande atenção referente a emissão de formaldeído emanada resina de ureia-formaldeído (UF) utilizada nesses painéis (OZALP, 2013).

Tem sido amplamente aceito que as informações relativas aos níveis de concentração de aldeídos e cetonas são importantes para a determinação da qualidade do ar, bem como para o estudo dos processos atmosféricos. Alguns compostos carbonílicos também foram estudados devido aos seus efeitos adversos na saúde. Por exemplo, o formaldeído é substância suspeita de ser cancerígeno em seres humanos, e acetaldeído é o precursor de peroxiacetilnitrato, também suspeito de ser cancerígeno. Ambos são considerados poluentes perigosos do ar, juntamente com metil-etil-cetona e propionaldeído, por seus possíveis efeitos teratogênicos. Além disso, o benzaldeído é um mutagênico conhecido. Em altas concentrações, a maioria das carbonilas causam efeitos agudos tais como: irritação da pele, olhos, nariz ou garganta no ser humano. Normalmente, as concentrações de compostos carbonílicos em ambientes internos residenciais ou no ar ambiente são muito abaixo dos valores limite de exposição profissional ou limites de exposição definido para estes compostos (JURVELIN, et. al., 2014).

A legislação brasileira determina como limite máximo de exposição do trabalhador ao formaldeído (formol) o valor de até 1,60 ppm para uma jornada de trabalho de até 48 horas semanais. Conforme portaria nº 3751 de 23 de novembro de 1990 e norma regulamentadora - NR15 são consideradas atividades insalubres aquelas que exponham os trabalhadores a agentes nocivos acima dos limites de tolerância estabelecidos (BRASIL A. , 1990).

Com o objetivo de permitir o desenvolvimento do estado do Paraná de forma ambientalmente segura e considerando o progresso e o aumento da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas do estado, a Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos SEMA, através da Resolução nº 054/2006 definiu

critérios para o controle da poluição do ar objetivando a melhor gestão ambiental e para a proteção da saúde e bem estar da população (PARANÁ, 2006).

Toda atividade emissora de poluente atmosférico deverá providenciar periodicamente ou quando exigido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) a caracterização e quantificação da emissão, através de realização de amostragem em duto ou chaminé (PARANÁ, 2006).

Na tabela 01 estão apresentados alguns limites de tolerância de agentes químicos definidos por agências nacionais e internacionais de controle ambiental.

Tabela 1 - Limites de tolerância nacionais (1) e internacionais (2) para os poluentes formaldeído e acetaldeído.

| | NR 15 ¹ | NR 15 ¹ | NIOSH ² | NIOSH ² | OSHA ² | OSHA ² |
|-------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Poluente | 48h/semana (mg m ⁻³) | 48h (ppb) | *IDLH (mg m ⁻³) | *IDLH (ppb) | 8h/dia (mg m ⁻³) | 8h/dia (ppb) |
| Formaldeído | 2,30 | 1,6x10 ³ | 25 | 16,0 | 0,93 | 750,0 |
| Acetaldeído | 140 | 7,8 x10 ⁴ | 3600 | 2,0 x10 ³ | 360 | 20 x10 ⁴ |

Fonte: NR 15: Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego Brasil; NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health; OSHA: Occupational Safety and Health Administration

* IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health.

2.2. MÉTODO ANALÍTICO PARA DETERMINAÇÃO DE ALDEÍDOS

Segundo Abdullahi, K.L. et al. (2013), Alves, Célia A (2012) e Brito, J. et al. (2011), Kim, Jeonghoon et al. (2013) ainda Jurvelin, J. et al. (2014), Missia, D.A. et al. (2010), Marc', M. et al. (2012), Nogueira, T. et al. (2015), Petri, Thomas et al. (2014), Qingyang, L. et al. (2013), Saraga, D. et al. (2011) descrevem que para avaliação em ambiente interno e externo, as técnicas de impregnação com 2,4-Dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH) têm sido amplamente utilizados para determinar compostos carbonílicos no ar atmosférico.

Um certo número de adsorventes sólidos têm sido utilizados ao longo dos anos para suportar o revestimento 2,4-DNPH. Eles são: esferas de vidro, os filtros de fibra de vidro, sílica gel, Chromosorb® P, Florisil, Carboxpack® B, XAD-2 (polímero sorvente o XAD-2 impregnado com Hidroximetil Piperidina), e C18. Vários destes adsorventes estão disponíveis comercialmente como cartuchos pré-embalados. Os cartuchos disponíveis comercialmente proporcionam comodidade de uso e reprodutibilidade. Dois dos adsorventes pré-embalados mais amplamente utilizados são sílica-gel e C18. (USEPA, 1999).

A sílica gel é um adsorvente regenerativo, que consiste em sílica amorfa (SiO₂), tornando-se um material polar e melhorando a adsorção de superfície. Cartuchos de sílica gel revestido com 2,4-DNPH têm sido usados por numerosos investigadores desde 1980 para amostragem de formaldeído no ar ambiente. (USEPA, 1999).

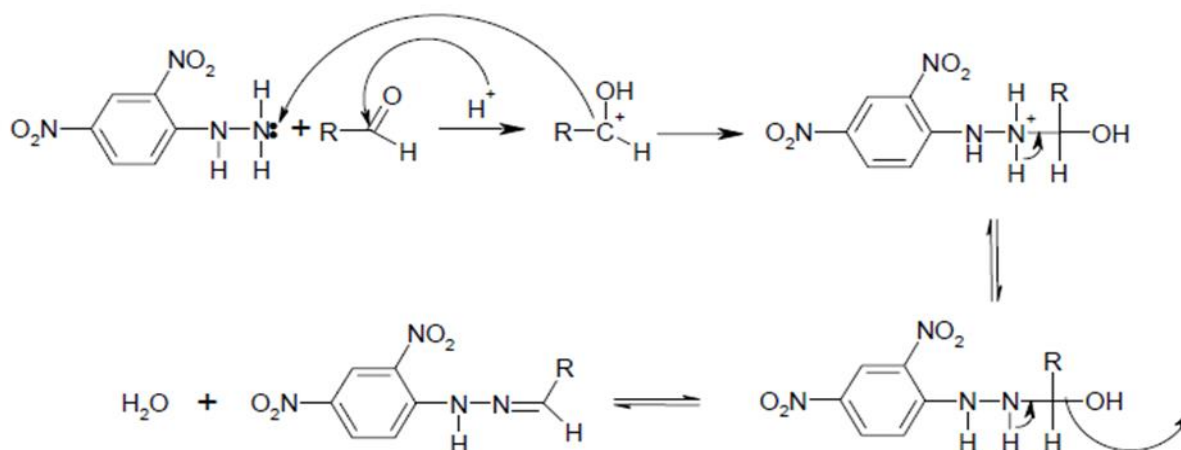
O método utilizado para determinação dos aldeídos na atmosfera baseia-se na pré-concentração e derivatização destes em cartucho contendo adsorventes sólidos (sílica funcionalizada-C₁₈), impregnada com o reagente 2,4-DNPH em meio ácido (que atuará como catalizador para promover a reação entre o derivado e o aldeído). Estes compostos reagem originando as carbonil-hidrazonas que são extraídas e separadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) (USEPA, 1999).

Esse método TO-11A já está descrito e bem estabelecido no meio científico, sendo considerado método padrão utilizado pela EPA, para determinação de formaldeído e acetaldeído (BERND, 1994).

O processo de derivatização com o 2,4-DNPH ocorre com objetivo de aumentar a estabilidade dos derivados, pois as DNPH hidrazonas não são voláteis com absorção no UV máximos nos comprimento de onda 360- 375 nm, proporcionando rapidez da reação em temperatura ambiente e dos baixos limites de detecção medidos, melhorando a separação e simetria dos picos (SANDNER; HOLLENDER, 2001).

A reação entre os aldeídos e o 2,4-DNPH ocorre de forma quantitativa. O mecanismo da reação é apresentado na figura 1.

Figura 1 - Reação entre o 2,4-DNPH e aldeído.



Fonte: USEPA (1999)

Interferências negativas podem acontecer na reação, o grau de influência depende das variações das concentrações do ozônio e aldeídos, e duração da coleta de amostras. Interferência negativa significativa de ozônio foi observada mesmo em concentrações de formaldeído e de ozônio típico de ar ambiente limpo (isto é, 2 e 40 ppb, respectivamente. Exposição dos cartuchos de amostragem revestido com 2,4-DNPH à luz solar direta pode produzir artefatos e deve ser evitado (USEPA, 1999).

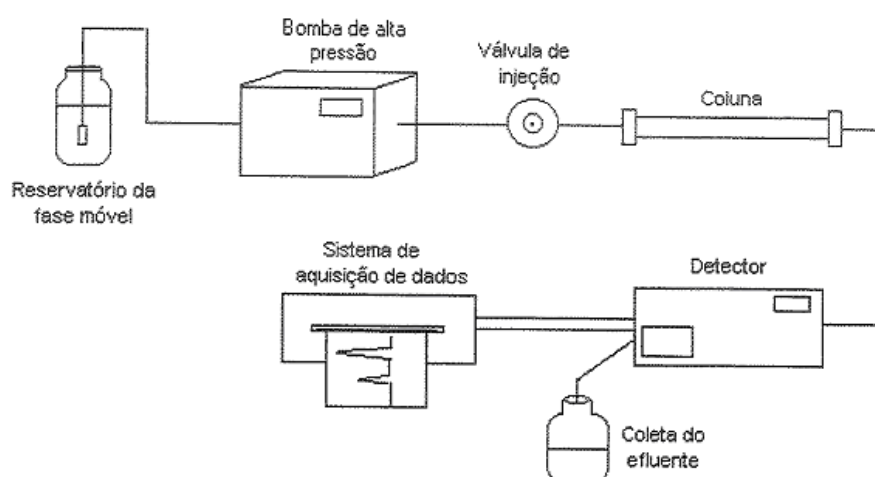
A presença de ozônio no fluxo de amostra é facilmente verificada a partir do surgimento de novos compostos, com diferentes tempos de retenção. Como solução promover a remoção do ozônio, antes do fluxo da amostra atingir o cartucho

revestido utilizando uma solução saturada de Iodeto de Potássio (USEPA, 1999), (CETESB, 2015).

O método de análise mais utilizada é a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), que é um método que separa os componentes de uma mistura, em uma coluna adsorvente em um sistema de fluxo. Essa separação cromatográfica, acontece em função dos diferentes graus de interação de cada constituinte da amostra, com a fase estacionária e com a fase móvel. A cromatografia líquida, é a designação genérica utilizada para descrever qualquer procedimento cromatográfico, em que a fase móvel é um líquido (WESTON, 1995).

A separação ocorre porque, no âmbito de um conjunto de condições otimizadas, cada componente numa mistura irão interagir com as duas fases de modo diferente, em relação aos outros componentes da mistura. Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) é o termo utilizado para descrever cromatografia líquida, em que a fase móvel líquida é mecanicamente bombeada, através de uma coluna que contenha a fase estacionária. Os sistema CLAE, por conseguinte, consiste de um injetor, uma bomba, uma coluna, e um detector (DONG, 2006). Na figura 2 abaixo segue um esquema dos componentes básico de um cromatógrafo líquido.

Figura 2 - Componentes básicos de um cromatógrafo líquido.



Fonte: TONHI (2004).

2.3. TIPOS DE CROMATOGRAFIA LÍQUIDA

O esquema de classificação mais popular deriva da maneira pela qual o analito interage com a fase estacionária. Com esta abordagem, cromatografia pode ser dividida em cinco mecanismos de separação: adsorção, partição, de exclusão por tamanho, afinidade e de troca iônica. Dentre estas, a cromatografia líquida com fase quimicamente ligada tornou-se a mais largamente utilizada, devido à maior estabilidade térmica e mecânica da fase estacionária (DONG 2006), (WESTON 1995).

Cromatografia fase normal, é utilizado para um sistema onde a fase estacionária é polar e a fase móvel apolar, já a cromatografia de fase reversa a fase estacionaria é apolar e a fase reversa é polar (WESTON, 1995).

No presente estudo, o metodo utilizado foi a cromatografia de fase reversa e para esse metodo, as fases estacionárias mais comuns, são aquelas em que um grupo funcional está quimicamente ligado a um suporte de sílica. As fases ligadas mais populares são os grupos alquil, tais como $-CH_3$, $-C_4H_9$, $-C_8H_{17}$, e $-C_{18}H_{37}$, grupos fenil ($-C_6H_5$), ciano $[(-CH_2)_3CN]$, e grupos amino $[(-CH_2)_3NH_2]$, com retenção aumentando exponencialmente de acordo com o comprimento da cadeia. O desempenho da aderência das fases é determinado por fatores como: a sílica e a sua base de pré-tratamento, a escolha do grupo funcional, a quantidade de material ligado ao gel (carga de carbono) (WESTON, 1995).

Os detectores mais utilizados na CLAE são os de absorção de radiação no UV-Vis, de fluorescência, de índice de refração, de condutividade elétrica e os espectrômetros de massas. Para obtenção de resultados satisfatórios na análise deve-se escolher apropriadamente a coluna o módulo de detecção bem como da otimização do método (DONG, 2006).

2.4. MATERIAL PARTICULADO

Gupta & Bhandari (2011) e WHO (2011) definem que material particulado (MP) é um ar poluente, que consiste de uma mistura de partículas que podem ser sólido, líquido, ou ambos, estão suspensas no ar e representam mistura complexas, compostas de substâncias orgânicas e inorgânicas. Estas partículas variam de tamanho, composição e origem. O tamanho de partícula para MP pode variar entre 0,005 μm a 100 μm de diâmetro. O material particulado no ambiente é referido como o total de partículas em suspensão (TPS).

Nesse estudo as frações investigadas seguem a seguinte classificação: partículas respiráveis (fração <1,0 μm de diâmetro; $\text{MP}_{1,0}$), partículas finas (<2,5 μm de diâmetro; $\text{MP}_{2,5}$) partículas grossas considerada fração inalável (> 2,5 a <10 μm de diâmetro; $\text{MP}_{2,5-10}$). Partículas menores que 0,1 μm são chamados de partículas ultrafinas (PUF).

A fração inalável pode ser definida de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 μm . Podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório, entra pelas narinas e pela boca, e passa para o trato respiratório durante a inalação (CETESB, 2015). Exercem efeito adverso se depositados no trato respiratório como um todo (SANTOS, 2001).

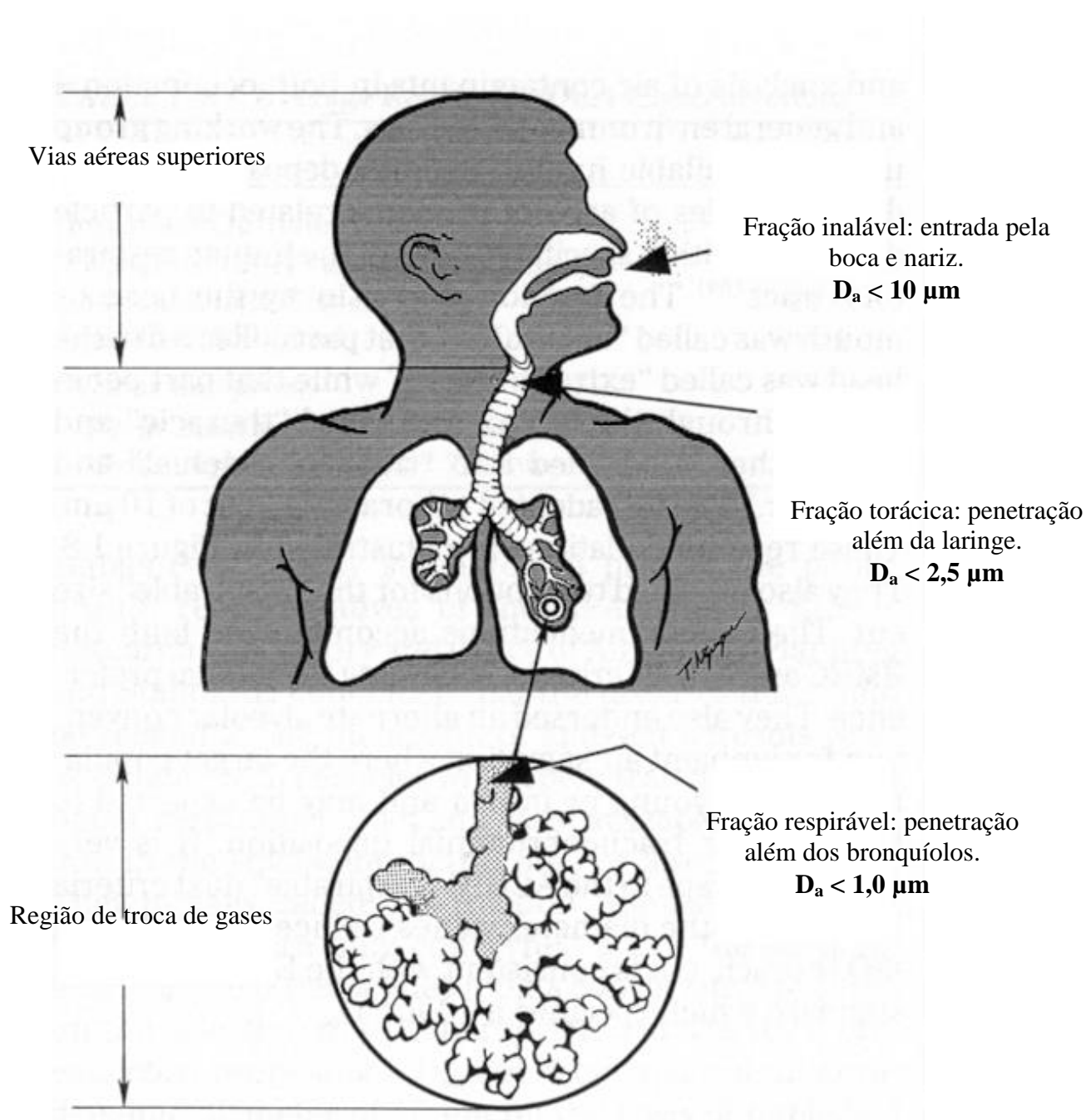
A fração torácica é a porção composta por partículas, pequenas o suficiente para passar pela laringe e entrar nos pulmões durante a inalação. Podem ser definidas pelo diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 μm . Devido ao seu tamanho muito pequeno, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares, desenvolvem efeito nocivo, ao serem depositados nas regiões traqueobronquial e de troca de gases (CETESB, 2015), (SANTOS, 2001).

A fração respirável constituída por frações ultrafinas de diâmetro aerodinâmico menor que 1,0 μm é a porção constituída de partículas que são pequenas o suficiente para entrar na região alveolar dos pulmões durante a inalação (CETESB, 2015), (SANTOS, 2001) .

Portanto as frações torácicas e respiráveis são mais perigosas, já que, quando inalados, podem chegar a regiões periféricas dos bronquíolos, e interferir a troca de gases no interior dos pulmões (MUHAMEDAGIC; MUHAMEDAGIC, 2010).

Na figura 3 esquema de como ocorre a deposição das partículas no sistema respiratório.

Figura 3 - Sistema respiratório simulando as regiões de deposição das partículas de acordo com o diâmetro.



Fonte: Adaptada SANTOS, 2001.

Os efeitos das partículas na saúde ocorrem em níveis de exposição a ser vivenciadas. A exposição crônica, ao MP contribui para o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares e respiratórias, assim como de câncer de pulmão (WHO, 2011). A mortalidade em cidades, com altos níveis de poluição excede a observada em cidades relativamente limpas em 15 a 20%. Mesmo na União Europeia, a expectativa de vida média é 8,6 meses menor devido à exposição ao MP_{2.5} produzido por atividades humanas (WHO, 2011).

A poluição do ar tornou-se uma das mais importantes preocupações das autoridades locais em cidades latino-americanas. Os centros urbanos na América do Sul, como São Paulo, Cidade do México, Lima, Buenos Aires e Santiago, mostram níveis significativos de poluição do ar, esses níveis podem apresentar um elevado risco para a saúde da população; conseqüentemente, estudos e medições da composição atmosférica têm se tornado extremamente importante para proteger a saúde das pessoas e ecossistemas (WHO, 2011).

A cidade de Santiago (33,5 ° S, 70,6 ° W), a capital do Chile, é caracterizada por altas concentrações de partículas finas, partículas grossas e partículas respiráveis. Esta composição é devido às atividades antrópicas de quase 6,5 milhões pessoas (aproximadamente 40% da população nacional) localizada em um vale topográfico abrupto no lado oeste da Cordilheira dos Andes, que também está sob a influência do sistema anticiclone do Pacífico no outono e inverno. Como resultado destas condições físicas, os níveis de material particulado atmosférico resultante têm sido reconhecidos como um importante poluente, e a Comissão Nacional de Meio Ambiente, hoje conhecida como o Ministério do Meio Ambiente, declarou que a cidade apresentou o MP₁₀ saturado em 2004. Além disso, altas concentrações de MP_{2,5}, mais de 50% do total de MP₁₀, foram relatadas (TORO, C., ET. AL., 2014).

Cerca de 3,6 milhões de trabalhadores na União Europeia estão expostos à poeira de madeira (KAUPPINEN, 2008). A Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC) classifica o pó de madeira como carcinógeno humano. Conforme (Schlünssen; Jacobsen, 2008) define que o 'pó de madeira' cobre uma coleção heterogênea de substâncias, e o impacto sobre a saúde depende, entre outros, do tipo de madeira e exposições simultâneas de outras substâncias utilizadas na indústria da madeira.

Embora, vários tipos de poluentes atmosféricos possam ser encontrados em uma indústria de madeira, um grande número de estudos epidemiológicos tem identificado pó de madeira como um fator de risco para asma, insuficiência aguda ou crônica da função pulmonar. Um estudo de *follow-up* de 6 anos no mobiliário dinamarquês indústria investigou a relação entre exposição ao pó de madeira e as doenças respiratórias. Isto foi feito a fim de investigar a tendência em exposição ao pó de madeira e comprometimento respiratório entre marceneiros empregados na indústria moveleira em uma área geográfica bem definida (SCHLUSSEN; JACOBSEN 2008).

A exposição foi principalmente fibra longa (pinheiros, abetos) e de madeira placas (painéis de partículas e MDF). No estudo de 6 anos, que revelou relação entre a concentração de pó de madeira inalável e sintomas respiratórios nasal, inchaço agudo da mucosa, o aumento da reatividade hiper brônquica e um declínio agudo da função pulmonar (SCHLUSSEN; JACOBSEN, 2008).

Além disso, conforme descreve Buczyńska, (2014) os efeitos na saúde da poluição do ar dependem tanto de dose recebida por um indivíduo e da susceptibilidade do hospedeiro. A susceptibilidade do hospedeiro para efeitos de poluentes é influenciada por muitos fatores, como idade, sexo, etnia e condições de saúde.

Buczyńska, (2014) afirma ainda que estudos têm demonstrado que o aumento da exposição MP muitas vezes leva ao aumento das hospitalizações, especialmente em grupos sensíveis, como os idosos e os indivíduos com doenças cardiopulmonares. Porque a dose depende não só da exposição, mas também sobre os parâmetros específicos do hospedeiro, tais como frequência respiratória, adsorção / taxa de absorção, e taxa metabólica, que é difícil determinar a dose para grande número de pessoas.

Portanto, os estudos de poluição do ar tendem, a se concentrar em uma exposição, que seja geralmente assumido como sendo proporcional à dose. Embora a exposição, o contato entre a poluente e um alvo, depende da concentração e duração da exposição (BUCZYŃSKA, 2014).

Os testes e estimativas da exposição de seres humanos em contato com substâncias químicas, associadas com as apropriadas suposições acerca dos efeitos à saúde, constitui um método padrão utilizado para determinar os níveis de exposições de determinadas populações sobre determinadas condições.

A exposição é originada como o contato que uma pessoa tem à uma ou mais agentes (químicos, físicos e biológicos) ao nível dos limites exteriores do seu organismo durante um período de tempo. A avaliação da exposição envolve a estimativa da magnitude, da frequência, da duração e a identificação das vias de exposição. Com objetivo de fornecer subsídios para a proteção e a promoção da saúde pública (EPA,1991).

Assim sendo conforme aborda Zhang & Lioy, (2002) a concentração de um poluente ambiental depende da sua força e fonte seu destino depois de seu lançamento a partir da fonte. O impacto ambiental pode ser complexo, envolvendo processos físicos e químicos, tais como a diluição, deposição seca ou molhada, e reações químicas. Alguns poluentes lançados na atmosfera primeiro impacto adverso ao clima ou ecossistemas (meio ambiente). O ambiente prejudicado em última instância irá causar efeitos adversos na saúde de seres humanos. O aquecimento global e as alterações climáticas resultantes e até um ligeiro aumento nos níveis atmosféricos globais desses gases de efeito estufa podem ser associados a uma enorme quantidade de riscos para a saúde.

A partir dos impactos causados a saúde surgiu a necessidade de estabelecer padrões de controle de qualidade do ar para poluentes atmosféricos, abaixo cita-se algumas agências de controle ambiental nacionais e internacionais.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) o MP_{10} fica estabelecido limite máximo de $50 \mu\text{m}/\text{m}^3$ em um período de 24 horas não mais de 35 dias em um ano, enquanto que o $MP_{2,5}$ não deve ultrapassar o limite de $25 \mu\text{m}/\text{m}^3$ por um período de 24 horas apenas uma vez ao ano (WHO, 2011).

Já a Agencia de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) estabelece que para partículas poluidoras MP_{10} o limite máximo fixado é de $150 \mu\text{m}/\text{m}^3$ não deve ser excedido mais de uma vez por ano, em uma média de 3 anos, enquanto que para o $MP_{2,5}$ não deve ultrapassar o limite de $35 \mu\text{m}/\text{m}^3$ por um período de 24 horas uma vez ao ano, em uma média de 3 anos (EPA, 2011).

Ainda o CONAMA 03 de 1990 determina que sejam padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral, fica estabelecido então os limites de concentração média de partículas inaláveis por 24 (vinte e quatro) horas

de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano, em ambiente externo (BRASIL B. , 1990).

Na tabela 2 a seguir estão apresentados um resumo de alguns limites definidos por algumas agencias de controle ambiental.

Tabela 2 - Limites nacionais (1) e internacionais (2) para MP_{1,0}, MP_{2,5} e MP₁₀.

| | CONAMA ¹ | EPA ² | WHO ² |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Poluente | 24 horas/ano | 24 horas/ano | 24 horas/35dias |
| | ($\mu\text{g m}^{-3}$) | ($\mu\text{g m}^{-3}$) | ($\mu\text{g m}^{-3}$) |
| MP _{1,0} | --- | --- | --- |
| MP _{2,5} | --- | 35* | 25 |
| MP ₁₀ | 150 | 150 | 50 |

Fonte: CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente; EPA: *Environmental Protection Agency*
WHO: *World Health Organization*;

-----: As agências não fornecem estes dados;

* Não deve ultrapassar o limite de 35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 24 horas por ano.

3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1. LOCAL DE AMOSTRAGEM

Com uma movimentação anual de mais de 1 bilhão de reais a cidade de Arapongas no norte do Paraná gera em torno de 15 mil empregos, sendo mais de 10 mil diretos e quase 5 mil indiretos. Destaca-se entre os principais polos moveleiros do Brasil atende ao mercado nacional e fabrica moveis retilíneos, estofados, de escritório e tubulares (SIMA, 2014). Arapongas ocupa o terceiro lugar em produção de móveis responsável por 12% da produção brasileira. (MOVERGS, 2012). A população de Arapongas esta em torno de 112.198 habitantes e tem uma area da

unidade territorial de 312,215 km², densidade demografica de 272,49 habitantes por Km² (IBGE, 2014).

As amostragens foram realizadas em uma indústria de móveis em Arapongas – PR. A empresa esta localizada no Parque Indústria II da cidade, nos arredores encontra-se empresas de diversos ramos de atividade. Fica a 1 km da Avenida Maracanã que dá acesso a Rodovia 369 PR, onde há tráfego intenso de veículos de passeio, caminhões e ônibus. Figura 4 demonstra a localização da fábrica vista satélite.

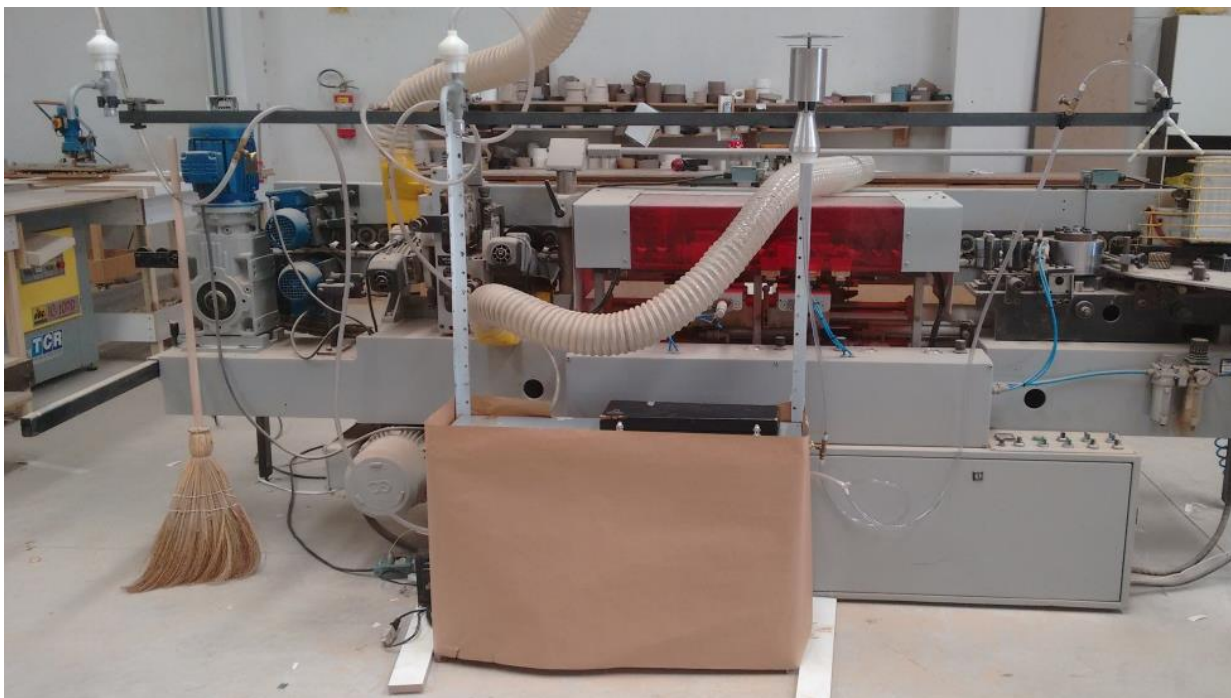
Figura 4 - Localização da Fábrica de Móveis em Arapongas – PR vista satélite.



Fonte: Google Heart, 2015.

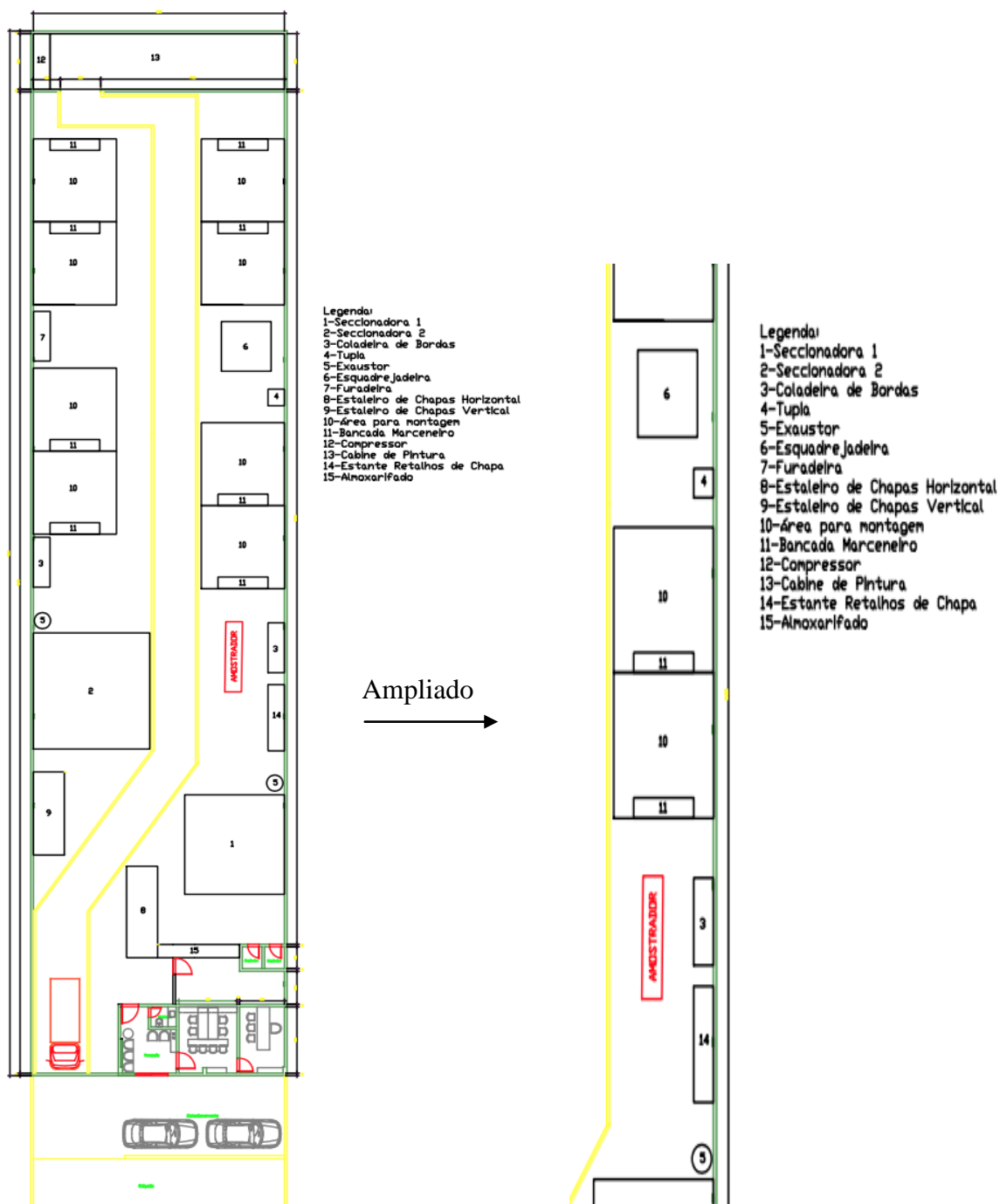
A fábrica está construída em toda a extensão do terreno, não há janelas, por esse motivo não foi possível coleta externa. Para dissipação do ar existem 4 exaustores ao longo do barracão com tubulação ligados diretamente nas máquinas de corte e lixadeiras. Na figura 5 é possível verificar os equipamentos de coleta posicionados paralelo à máquina de colar borda, para evitar problemas na produção dos móveis – esse equipamento é pouco utilizado.

Figura 5 - Posição dos amostradores no galpão da fábrica.



Fonte: o autor

Figura 6 – Layout com a posição dos amostradores no galpão da fábrica.



Fonte: o autor

Figura 6 o *layout* da fábrica, para ilustrar melhor local onde os amostradores foram dispostos, montou-se uma bancada para fixação dos mesmos em paralelo ao equipamento número 3, ao lado da estante de retalhos de chapa número 14.

A campanha foi realizada no período de 11 a 14 e 17 de agosto de 2015 nos dias 15 sábado e 16 domingo a empresa estava fechada, não foi possível coletar amostras, dessa forma a campanha contou com 5 dias de amostragem.

Embora a empresa esteja situada em setor industrial, trata-se de um local em desenvolvimento, não existem construções ao redor do barracão e a empresa ocupa toda extensão do terreno, não foi verificado um ponto seguro para fixação dos amostradores para coleta em ambiente externo.

3.2. PREPARO PARA ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

A campanha de amostragem foi realizada em Agosto de 2015. Os amostradores foram instalados em ambiente interno. Foram utilizados ciclones da marca URG com diâmetros de corte para $MP_{2,5}$ e $MP_{1,0}$ e os amostradores de baixo volume ZUF (Alemanha) para o MP_{10} . Na montagem dos sistemas coletores foram utilizadas bombas de diafragma, rotâmetros, válvulas de agulha e gasômetros. As amostragens em ambiente interno foram realizadas no galpão da fábrica e os coletores foram posicionados a uma altura de aproximadamente 1,5 metro, o mais próximo possível da zona de respiração das pessoas.

O MP foi amostrado sobre filtro de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro e 0,5 μm de porosidade (S&S GF 62-C). Foram reservados 20% dos filtros para medida dos brancos de campo. Os filtros foram condicionados em estufa a 80 °C por 4 horas, em seguida foram guardados em dessecador de vidro contendo sílica gel em sala com ambiente controlado à temperatura de 20 °C e umidade relativa do ar a 50 % ($\pm 5\%$) até atingir as condições ambientais da sala. Em seguida foram pesados em microbalança analítica (METTLER TOLEDO, modelo AX26) com precisão de 1,0 μg e identificados. O tempo de amostragem foi de 9 horas utilizando as vazões de 540 L h^{-1} para MP_{10} e 1002 L h^{-1} para $MP_{2,5}$ e $MP_{1,0}$ utilizando válvulas de agulha para o controle da vazão.

A troca dos filtros foi realizada no período da tarde quando as vazões foram conferidas utilizando rotâmetros de esfera (FISCHER & PORTER). Após a amostragem os filtros foram novamente guardados em dessecador na mesma sala por 24 horas e então novamente pesados. Para cálculo da massa de MP_{10} , $MP_{2,5}$ e $MP_{1,0}$ o peso final de cada filtro foi subtraído do peso inicial conforme equação abaixo (PINTO, et al. 2014).

$$MP = (P_f - P_i) \times 10^6 / V_t$$

Onde:

MP= massa do material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$);

P_i = massa inicial dos filtros (g);

P_f = massa final dos filtros pós amostragem (g) subtraído da massa dos filtros branco de campo;

10^6 = conversão de grama (g) para micrograma (μg);

V_t = volume total de ar amostrado (m^3).

3.3. ANÁLISE EXPOSIÇÃO E DOSE RECEBIDA

Foi calculada a média da dose recebida por indivíduo, e estas foram comparadas com o material particulado encontrado no ambiente interno. Para o cálculo da dose ingerida foi utilizada a seguinte equação (U.S. EPA, 1997):

$$\text{Ingestão: } \frac{Ca \times TI \times FE \times DE}{PC \times TM}$$

Onde:

Ca: concentração no ar do MP10 (mg/L);

TI: taxa de ingestão (L/hora);

FE: frequência de exposição (hora/dia);

DE: duração da exposição (dia);

PC: massa corporal do indivíduo (kg);

TM : tempo médio ou período médio em que ocorreram as medidas (hora).

Para o cálculo foi utilizada a média da concentração de MP₁₀, MP_{2,5} e MP_{1,0} das 9 horas amostradas, portanto a duração da exposição foi de 9 horas por dia, considerando peso médio de 80 Kg por indivíduo.

3.4. TEMPERATURA E UMIDADE

Os dados de umidade relativa (%) e temperatura (°C) da fábrica foram monitorados e gravados utilizando o Data LOGGER HOBO U10 durante todo o período de campanha de amostragem, e ao final da campanha os mesmos foram retirados e computados com auxílio do software HOBOWare Pro. Os dados adquiridos estão agrupados na figura 13 com as referentes médias diárias de temperatura e umidade relativa no interior do galpão da fábrica.

3.5. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

Para verificar relacionamento ou associações entre as variáveis utilizou-se a análise de correlação de Pearson denominadas “r”, análise de correlação fornece um número que resume o grau de relacionamento linear entre duas variáveis.

Abaixo tabela 04 de intensidade do relacionamento de coeficientes de correlação positivos e negativos.

Tabela 3 - Intensidade do relacionamento de coeficientes de correlação positivos e negativos

| Intensidade | Positivo | Negativo |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| Perfeito | +1 | -1 |
| | +0,9 | -0,9 |
| Forte | +0,8 | -0,8 |
| | +0,7 | -0,7 |
| | +0,6 | -0,6 |
| Moderado | +0,5 | -0,5 |
| | +0,4 | -0,4 |
| | +0,3 | -0,3 |
| Fraco | +0,2 | -0,2 |
| | +0,1 | -0,1 |
| Zero | 0 | |

Fonte: Adaptado de DANCEY, CHRISTINE P, 2008.

Quanto mais próximo de +1 for “r”, maior o grau de relacionamento linear positivo entre X e Y, ou seja, se X varia em uma direção Y variará na mesma direção. Quanto mais próximo de -1 for “r”, maior o grau de relacionamento linear negativo entre X e Y, isto é, se X varia em um sentido Y variará no sentido contrário. Quanto mais próximo de zero se encontrar o “r” menor será o relacionamento linear entre X e Y. Um resultado igual a zero, sugerirá ausência de relacionamento linear (FONSECA et al., 1996).

3.5.1. Linearidade

Linearidade é a capacidade de um método analítico de demonstrar que os resultados obtidos são diretamente proporcionais à concentração do analito na amostra, dentro de um intervalo especificado. Aconselha-se que a linearidade seja determinada pela análise de ao menos 5 pontos de diferentes concentrações da amostra (ANVISA, 2002).

Os resultados analíticos foram tratados pelo programa estatístico Origin Lab® para determinação do coeficiente de correlação, intersecção com o eixo Y, coeficiente angular, regressão linear e desvio padrão relativo.

O coeficiente de correlação (r) foi de 0,99 para formaldeído e acetaldeído analisados obedecendo aos critérios mínimos aceitáveis (ANVISA, 2002).

A quantificação dos analitos foi obtida através da construção de curvas de referência (método de calibração externo) utilizando padrões puros das espécies de interesse. Os limites de detecção foram determinados considerando o limite de detecção analítico (método cromatográfico) e do nível de hidrazonas contaminantes nos cartuchos amostradores determinados pelo teste em branco.

3.5.2. Limite De Detecção

Limite de detecção é obtido pela menor quantidade do analito presente em uma amostra que pode ser detectado, porém não necessariamente quantificado, de acordo com condições experimentais estabelecidas (ANVISA 2002). Pode ser determinado pela equação,

$$LD = (DPa \times 3) / IC$$

em que: DPa é o desvio padrão do intercepto com o eixo do Y de, no mínimo, 3 curvas de calibração construídas contendo concentrações do analito próximas ao suposto limite de quantificação. Outra maneira de obter o desvio padrão é a partir da curva de referência proveniente da análise de um número apropriado de amostras do branco; IC é a inclinação da curva de calibração (ANVISA, 2002).

3.5.3. Limite De Quantificação

É a menor concentração do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis sob as condições experimentais estabelecidas (ANVISA, 2002).

$$LD = (DP_a \times 10) / IC$$

em que: DPa é o desvio padrão do intercepto com o eixo do Y de, no mínimo, 3 curvas de calibração construídas contendo concentrações do analito próximas ao suposto limite de quantificação. Este desvio padrão pode ainda ser obtido a partir da

curva de calibração proveniente da análise de um apropriado número de amostras do branco; IC é a inclinação da curva de calibração (ANVISA, 2002).

3.6. PREPARO CARTUCHOS SEP-PAK C18 PARA ANÁLISE ALDEÍDOS

Foram empregados cartuchos Sep-Pak C₁₈ (WATERS CORPORATION) para a coleta formaldeído e Acetaldeído na fase gasosa. Os cartuchos foram previamente limpos utilizando vários solventes orgânicos com polaridade crescente diclorometano (CH₂Cl₂, DINAMICA P.A.), etanol (C₂H₆O, ANIDROL P.A.), acetonitrila (CH₃CN, PANREAC CLAE) e água (H₂O) respectivamente. Guardaram-se os cartuchos revestidos sob refrigeração a 4 °C em frasco de polietileno com tampa hermeticamente fechados e vedados com fita Teflon[®].

Para preparar o derivatizante inicialmente purificou-se por recristalização a 2,4-DNPH (NUCLEAR P.A.) pesando-se 2,0 g do reagente em balança semi-analítica (BEL ENGINEERING), aquecendo-se em álcool *n*-butílico (NUCLEAR P.A.) e adicionando-se 50 mg de carvão ativo (REAGEN P.A.). Filtrou-se a solução resultante ainda quente restando-se assim o carvão ativo, deixou-se esfriar até recristalização. Filtrou-se novamente a solução para retirada da 2,4-DNPH e estocou-se o recristalizado em dessecador até secagem.

Para impregnação foi utilizado o volume de 500 µL de solução 2,4-DNPH a 0,2% em 1% de H₃PO₄ (REAGEM P.A.) em CH₃CN. Com o auxílio de micropipeta (EPPENDORF) foram adicionados 500 µL da solução em cada cartucho. Retirou-se o excesso de solvente passando ar limpo e seco através dos cartuchos utilizando o conjunto de frascos lavadores em série contendo iodeto de potássio (MERCK, P.A.) como antioxidante e sílica gel (REAGEN, P.A.) como secante, conectados a bomba peristáltica FANEM. Os cartuchos foram envolvidos em papel alumínio, armazenados em frascos de polietileno com tampa hermeticamente fechados com fita TEFLON[®] e mantidos sob refrigeração, sem congelar a 4 °C até amostragem.

3.6.1. Preparo Das Armadilhas De Ozônio

Foram preparados filtros impregnados com iodeto de potássio, para captura do ozônio. Deste modo, preparou-se solução saturada dissolvendo-se 0,1 g de

iodeto de potássio em 700 μL de água deionizada, em seguida, filtros de celulose de 37 mm foram imersos nesta solução e levados a estufa até a secagem. Os filtros secos foram condicionados em porta-filtros de 37 mm, vedados com fita TEFLON[®] e mantidos a 4 °C até amostragem. Na figura 07 é possível observar o esquema de montagem do filtro impregnado com KI e montados no *open face*.

Figura 7- Filtros impregnados com KI posicionados na entrada de ar dos conjuntos amostradores.



Fonte: o autor

3.6.2. Montagem Dos Conjuntos Amostradores

Foram montados dois conjuntos de amostradores que operam em paralelo contendo, filtro impregnado com solução saturada de iodeto de potássio, quatro cartuchos impregnados com 2,4-DNPH, válvula de agulha para controle de vazão em 1 L min^{-1} , e bomba de diafragma. Os conjuntos foram utilizados por 5 ciclos de 9 horas do dia 11 (terça-feira) ao dia 14 (sexta-feira) e dia 17 (segunda-feira) de agosto de 2015.

3.6.3. Extração E Análise De Formaldeído E Acetaldeído

Os aldeídos amostrados foram transportados sobre resfriamento até o laboratório LACA, onde manteve-se sobre refrigeração 4°C em frasco vedados com fita Teflon® até a extração e análise. A extração foi realizada utilizando volume de 1,5 mL de acetonitrila e completado volume em um balão volumétrico de 2 mL. Para análise, utilizou-se a cromatografia líquida de alta eficiência nas condições descritas na tabela 3.

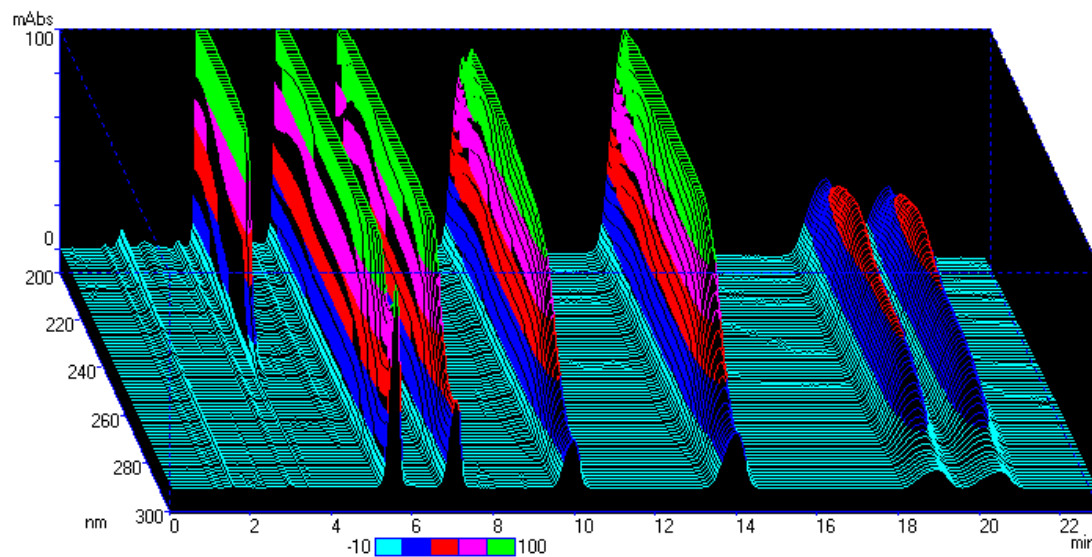
Tabela 4 - Condições cromatográficas utilizadas nas determinações de formaldeído e acetaldeído em ar ambiente na indústria de móveis em (agosto de 2015).

| | |
|------------------------------|---|
| Laboratório | LACA UEL |
| Método | Cromatografia a Líquido de Alta Eficiência |
| Equipamento | SHIMADZU LC 10AD |
| Coluna | ODS Metasil (250x4,6 mm) |
| Detecção | Espectrofotométrica com Arranjos de fotodiodos (DAD) |
| λ / nm | 365 |
| Fase Móvel | Acetonitrila : Água Isocrática 50:50 (C ₂ H ₃ N:H ₂ O) |
| Vazão / mL min ⁻¹ | 1,0 |
| Injeção | 20 μ L / manual |
| Temperatura do Forno | 40 °C |

Fonte: o autor

Para quantificação dos compostos de interesse, foi utilizado o método de calibração externa. A partir de uma solução padrão certificada de 100 μ g mL⁻¹ da marca SUPELCO (certificado no anexo 4), contendo 07 aldeídos (1-formaldeído, 2-acetaldeído, 3-propionaldeído, 4-isobutiraldeído, 5-butiraldeído, 6-isovaleraldeído, 7-valeraldeído) foram preparados por diluição solução-padrão, nas concentrações de 0,26 1,0 3,0 5,0 7,0 e 9,0 μ g mL⁻¹. Na figura 8 cromatograma tridimensional utilizando o padrão mix de 07 aldeídos.

Figura 8 - Cromatograma tridimensional utilizando a solução padrão certificado de 07 aldeídos.

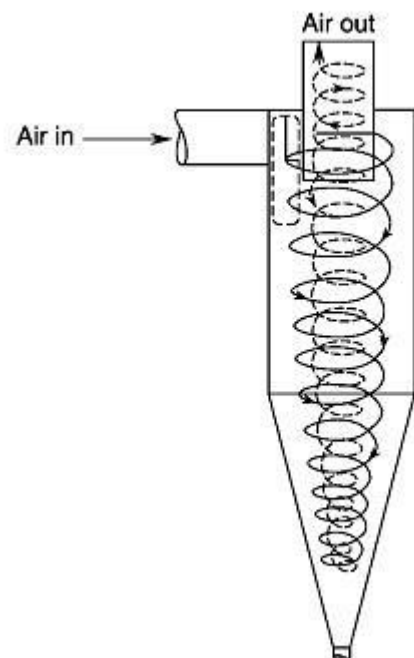


Fonte: o autor

3.7. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

Para amostragem de material particulado, foram utilizados três conjuntos de amostradores, sendo compostos por: impactador MP_{10} *low-vol*, ciclone $MP_{2,5}$ e ciclone $MP_{1,0}$. A figura 9 mostra esquema de funcionamento do ciclone para coleta do $MP_{1,0}$ e $MP_{2,5}$.

Figura 9 - Princípio de funcionamento de um ciclone para coleta de material particulado $MP_{1,0}$ e $MP_{2,5}$.



Fonte: Adaptado de Ayer e Hochstrasser, 1979, *apud* PITTIS; PITTIS, 1999, p. 612 - Esquema de colector de ciclone.

O funcionamento dos ciclones tem como princípio a ação da força centrífuga que age sobre as partículas carregadas pelo fluxo de gás, empurrando-as na direção das paredes, e retirando do fluxo gasoso. As forças centrífugas fazem com que as partículas se choquem contra as paredes, isto provoca redução na sua velocidade e quedas das mesmas (FINLAYSON-PITTIS; PITTIS, 2000). O processo envolvido na coleta das partículas permite que apenas as partículas de tamanho aerodinâmico ao qual o ciclone foi projetado sejam coletadas, essas são depositadas no filtro de fibra de vidro posicionado na parte superior do ciclone.

Todos os filtros de fibra de vidro utilizados nesta amostragem passaram por um pré-secagem, foram levados à estufa por uma hora a 80°C . Em seguida os filtros foram deixados em dessecador contendo sílica. Para o teste de branco foram separados 20% dos filtros.

A análise gravimétrica foi realizada pela diferença no peso do filtro amostrado e do filtro limpo. Cada filtro permaneceu 24 horas antes da pesagem em dessecador

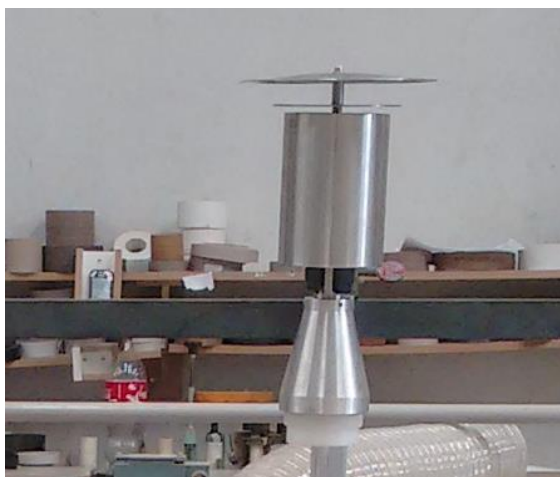
para controle de umidade. Os filtros amostrados foram pesados 24 horas após a amostragem.

3.7.1. Impactador MP₁₀ *Low-Vol*

O impactador MP₁₀ *low-vol* (Figura 10), ZUF – Universidade de Frankfurt, Alemanha, separa e coleta o material particulado em uma faixa de tamanho denominada MP₁₀. Utiliza uma vazão de 9,0 L min⁻¹ e o material é coletado sobre filtros de fibra de vidro de 47 mm.

Para amostragem, o sistema contou com impactador MP₁₀ *low-vol*, válvula de agulha para controle da vazão, gasômetro e bomba de diafragma. Este sistema foi utilizado para verificar a concentração diária de MP₁₀ decorrente dos processos de corte, lixa e preparação das placas de MDF para montagem dos móveis, ele operou por 5 ciclos de 9 horas de coleta entre os dias 11 a 14 e dia 17 de Agosto de 2015.

Figura 10 - Impactador MP₁₀ *low-vol*.

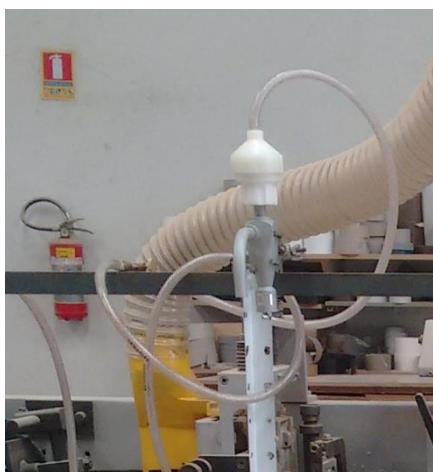


Fonte: o autor

3.7.2. Ciclone MP_{2,5}

Ciclones são amostradores de partículas seletivos por tamanho, que criam um movimento de ar circular. Este movimento circular separa as partículas grossas das finas (CYCLONES, URG Corp.). O ciclone MP_{2,5} (Figura 11), URG corp., separa a fração de partículas denominada MP_{2,5} e as armazena em filtros de fibra de vidro. Trabalha a uma vazão de 16,7 L min⁻¹ e utiliza filtro de fibra de vidro de 47 mm. Para amostragem, o sistema utilizou ciclone MP_{2,5}, válvula de agulha para controle da vazão e bomba de diafragma. Ele foi utilizado por 5 ciclos de 9 horas de coleta entre os dias 11 a 14 e 17 de Agosto de 2015.

Figura 11 - Ciclone MP_{2,5}



Fonte: o autor

3.7.3. Ciclone MP_{1,0}

O ciclone MP_{1,0} (Figura 12), URG corp., separa a fração de partículas denominada MP_{1,0} e as armazena em filtros de fibra de vidro. Trabalha a uma vazão de 16,7 L min⁻¹ e utiliza filtro de fibra de vidro de 47 mm. Para amostragem, o sistema utilizou ciclone MP_{1,0}, válvula de agulha para controle da vazão e bomba de diafragma. Ele foi utilizado por 5 ciclos de 9 horas de coleta entre os dias 11 a 14 e 17 de Agosto de 2015 com intervalo de 2 dias (sábado e domingo) dias em que a empresa não tem expediente.

Figura 12 - Ciclone MP_{1,0}

Fonte: o autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas análises realizadas, conforme é possível observar na tabela 05 demonstra os resultados obtidos nas amostras dos padrões, obteve-se para FA, com retenção em 5,6 min, LD de $0,3 \mu\text{g mL}^{-1}$ e LQ de $1,0 \mu\text{g mL}^{-1}$. Para AA, com retenção em 6,6 minutos, obteve-se LD de $0,4 \mu\text{g mL}^{-1}$ e LQ $1,3 \mu\text{g mL}^{-1}$. O coeficiente de determinação da reta R^2 mostrou-se superior a 0,99 para os dois compostos de interesse. Na figura 13 consta o gráfico da curva de referência. A identificação e quantificação dos compostos de interesse foram feitas pelo tempo de retenção no comprimento de onda de maior absorção, 365 nm, figura 14 cromatograma da curva de referência com os 7 aldeídos e espectro formaldeído.

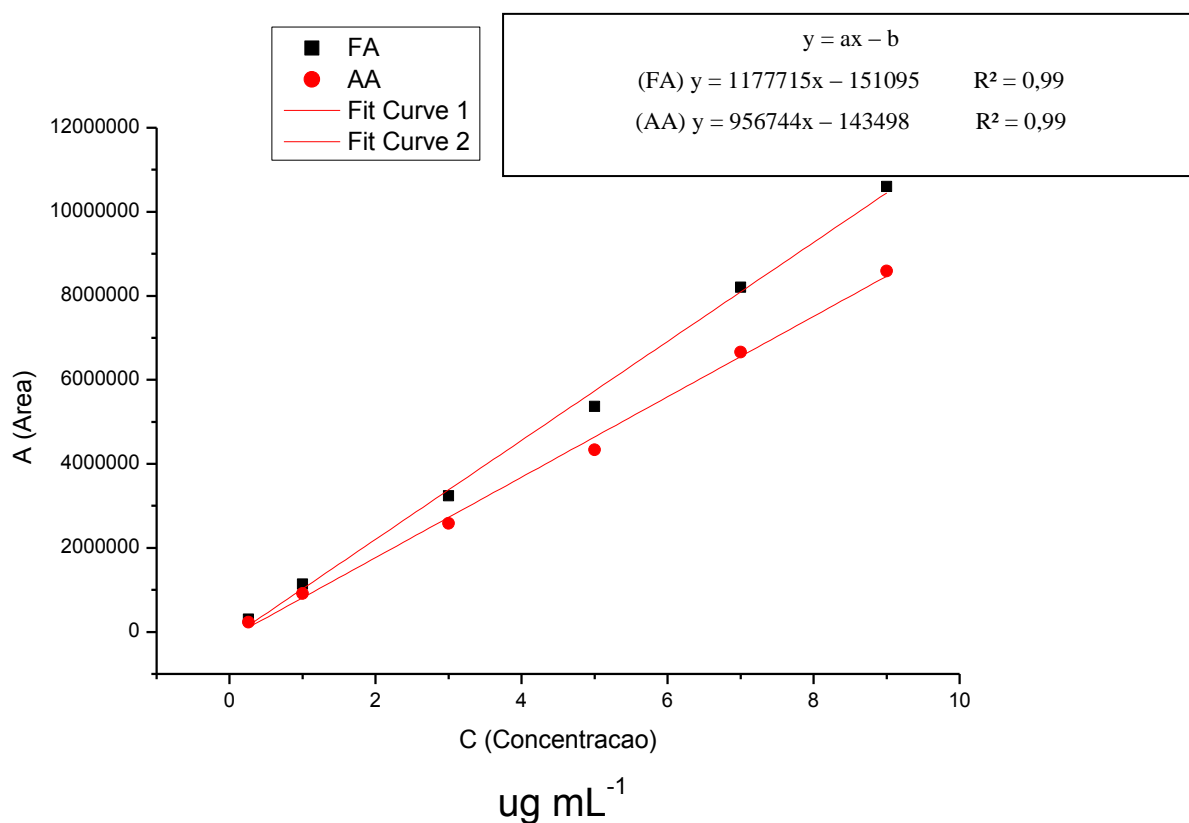
Tabela 5 - Resultados obtidos nas análises cromatográficas dos padrões dos compostos carbonílicos.

| Carbonílicos | TR/min | Curva de referência | R^2 | LD | LQ |
|--------------|--------|-----------------------|-------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | $\mu\text{g mL}^{-1}$ | $\mu\text{g mL}^{-1}$ |
| Formaldeído | 5,6 | $Y=1177715X - 151095$ | 0,99 | 0,3 | 1,0 |
| Acetaldeído | 6,6 | $Y=956744X - 143498$ | 0,99 | 0,4 | 1,3 |

Fonte: o autor.

Os valores das concentrações médias dos compostos carbonílicos encontrados nos “cartuchos branco” foram subtraídos das concentrações obtidas nos cartuchos das amostras.

Figura 13 – Curva de referência do formaldeído e acetaldeído.



Fonte: o autor

Figura 14 - Cromatograma curva de referência - (1-formaldeído, 2-acetaldeído, 3-propionaldeído, 4-isobutiraldeído, 5-butiraldeído, 6-isovaleraldeído,7-valeraldeído) e espectro do formaldeído.

Figura 14A

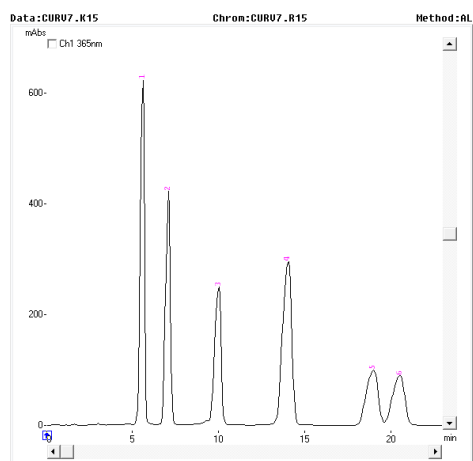
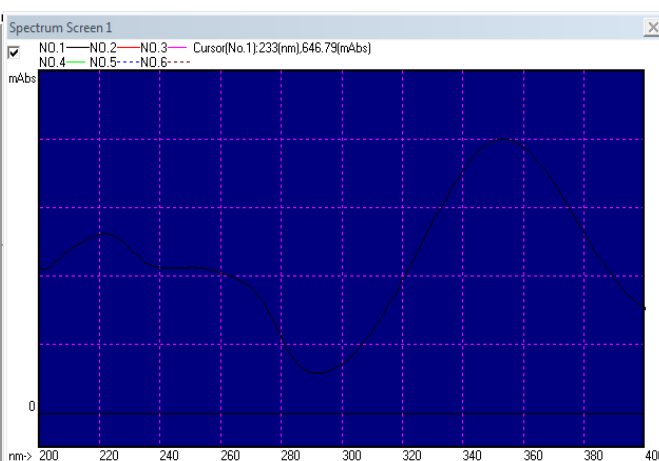


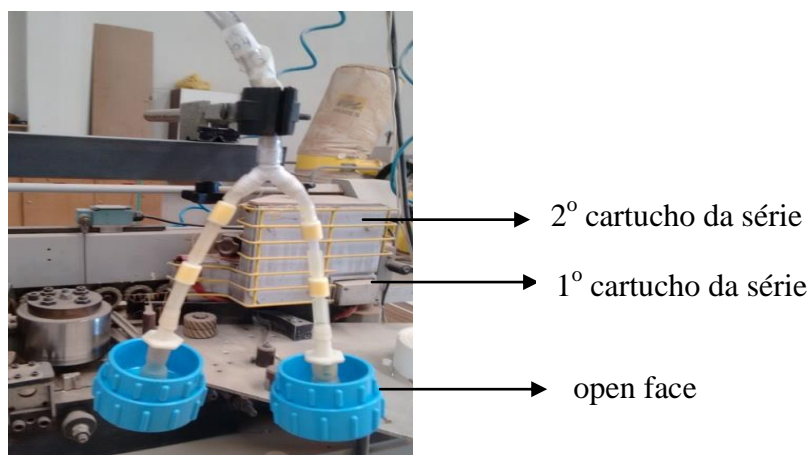
Figura 14B



Fonte: o autor – figura 14A a direita cromatograma curva de referência; figura14B a esquerda espectro formaldeído.

As concentrações finais do formaldeído e acetaldeído foram obtidas da seguinte maneira, pela soma das concentrações obtidas nos cartuchos em série; pela média das concentrações totais obtidas nos conjuntos em paralelo, para ilustrar melhor figura 15.

Figura 15 - Conjunto de amostradores para coleta de formaldeído e acetaldeído – amostragem realizada em duplicidade.



Fonte: o autor

4.1. RESULTADOS DO FORMALDEÍDO E ACETALDEÍDO

Para demonstrar os resultados obtidos da concentração de formaldeído e acetaldeído encontrados no estudo elaborou-se a tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Intervalo de concentração (ppbv e mg m^{-3}), valor médio (ppbv e mg m^{-3}) e desvio-padrão (ppbv e mg m^{-3}) de formaldeído e acetaldeído no interior da fábrica de móveis.

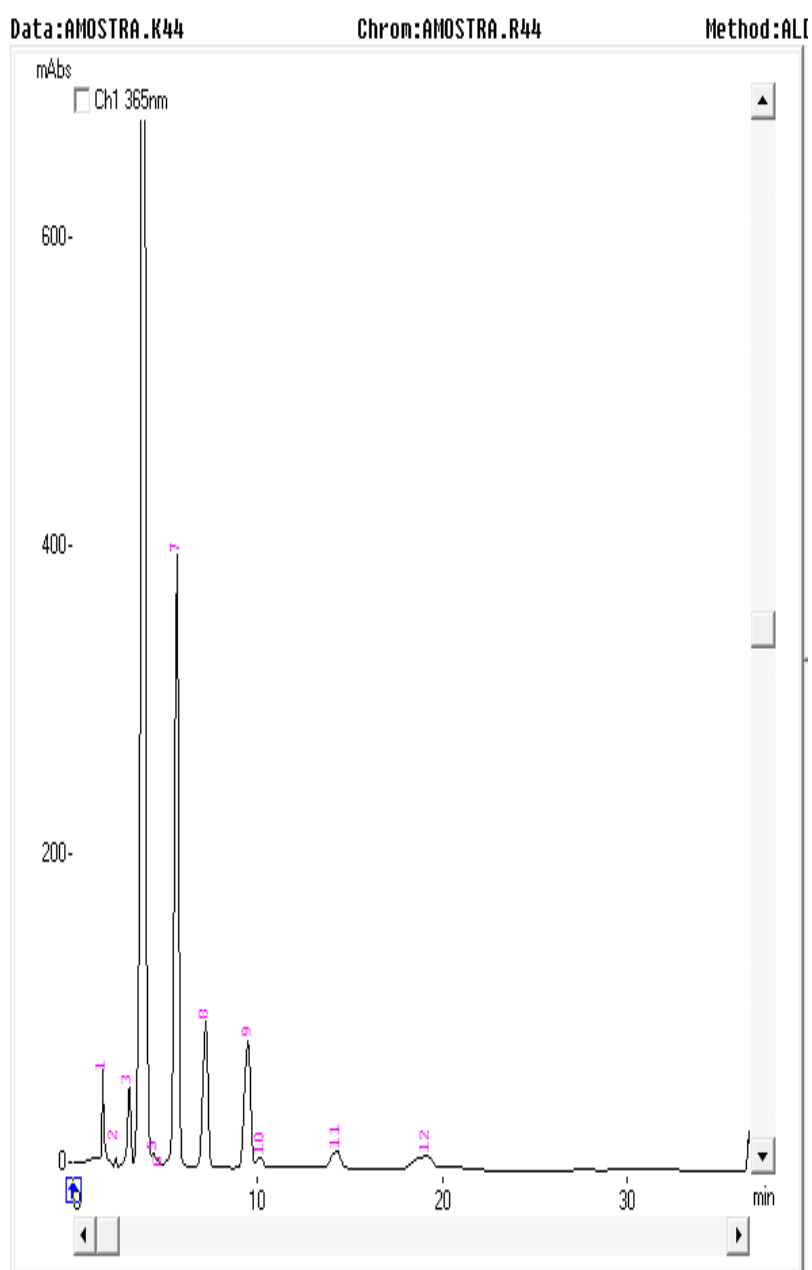
| Carbonílicos | Máximo (ppbv) | Máximo (mg m^{-3}) | Mínimo (ppbv) | Mínimo (mg m^{-3}) | Média (ppbv) | Média (mg m^{-3}) | Desvio padrão (ppbv) | Desvio padrão (mg m^{-3}) |
|--------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|--------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Formaldeído | 136 | 0,17 | 49 | 0,06 | 80 | 0,10 | 33 | 0,04 |
| Acetaldeído | 21 | 0,07 | 7 | 0,01 | 11 | 0,02 | 6 | 0,01 |

Fonte: o autor.

A concentração de FA variou entre 0,17 e 0,06 mg m^{-3} , com média de $0,10 \pm 0,04 \text{ mg m}^{-3}$; o AA variou entre 0,07 a 0,01 mg m^{-3} , com média de $0,02 \pm 0,01 \text{ mg m}^{-3}$ nas análises realizadas, na figura 16 cromatograma dos extratos do cartucho (numero um da série) e na figura 17 cromatograma dos extratos do cartucho número

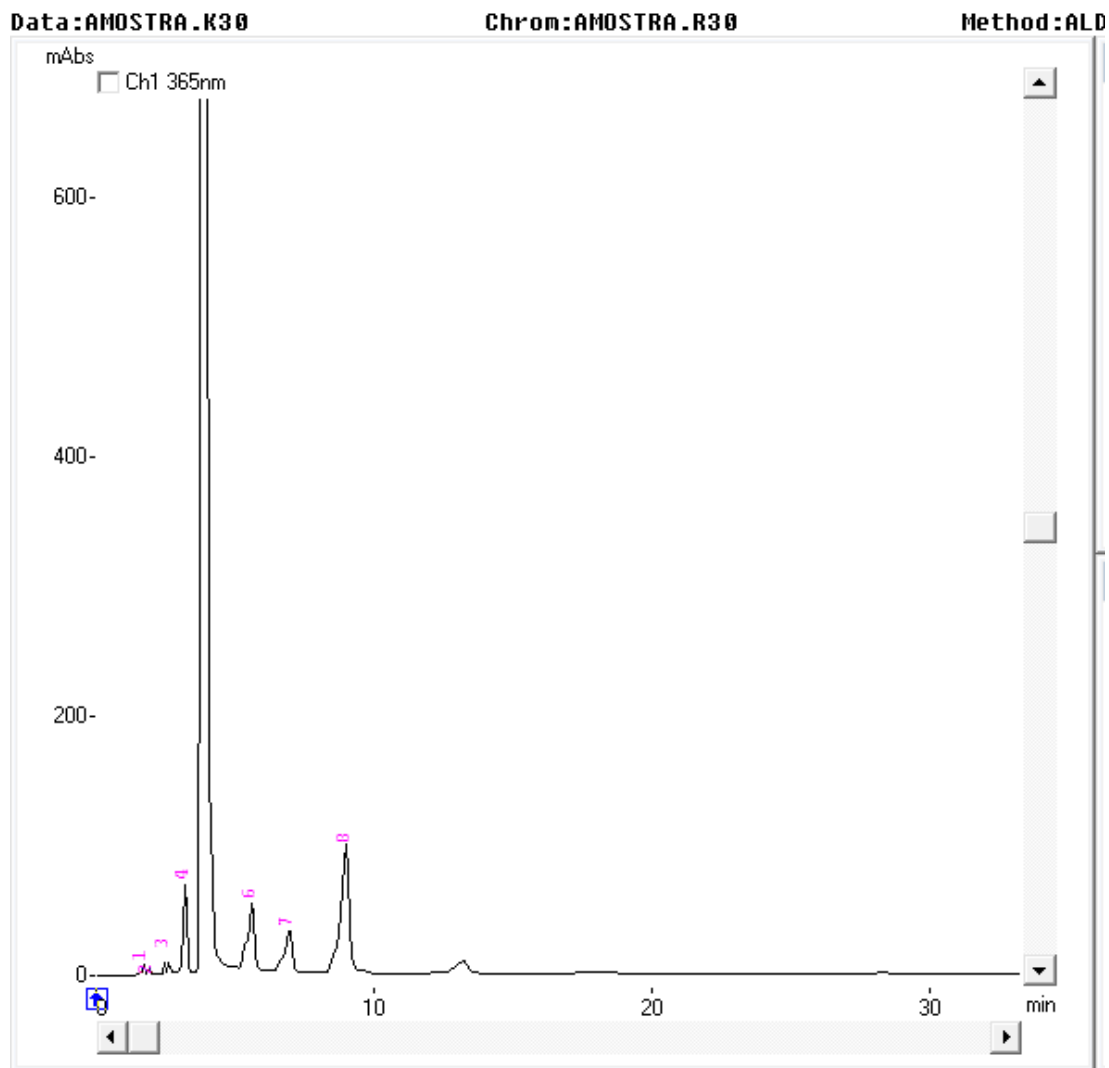
dois da série, figura 18 espectro do derivatizante 2,4- DNPH, formaldeído e espectro do acetaldeído.

Figura 16 – Cromatograma cartucho número 1 da série (6 – 2,4 DNPH,7- formaldeído, 8-acetaldeído).



Fonte: o autor – (cartucho número 1) para coleta são utilizados dois cartuchos em série, o cartucho número 1 fica posicionado logo após o open face vide figura 15.

Figura 17 – Cromatograma dos extratos do cartucho número 2 da série (5- 2,4 DNPH, 6-formaldeído, 7-acetaldeído)



Fonte: o autor – (cartucho número 2) para coleta são utilizados dois cartuchos em série, o cartucho número 2 fica posicionado logo após o cartucho número 1 (vide figura 15).

Figura 18 - Espectro cromatográfico do derivatizante 2,4 DNPH, formaldeído e acetaldeído

Figura 18A

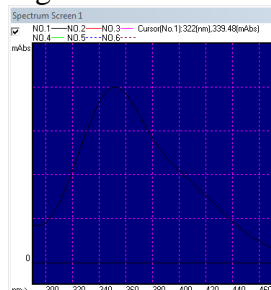


Figura 18B

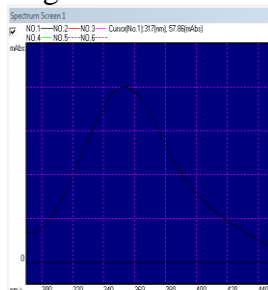
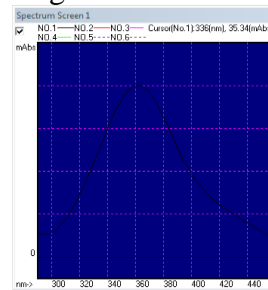


Figura 18C



Fonte: o autor – figura 18A á direita espectro cromatografico do derivatizante 2,4 DNPH; figura 18B no centro espectro cromatográfico formaldeído; figura 18C á esquerda espectro cromatografico acetaldeído.

A tabela 7 verifica-se as concentrações diárias obtidas através da análise cromatográfica dos extratos das amostras diárias realizadas na indústria de móveis.

Tabela 7 - Perfis diários de emissões de formaldeído e acetaldeído provenientes do ar atmosférico interior da indústria de móveis.

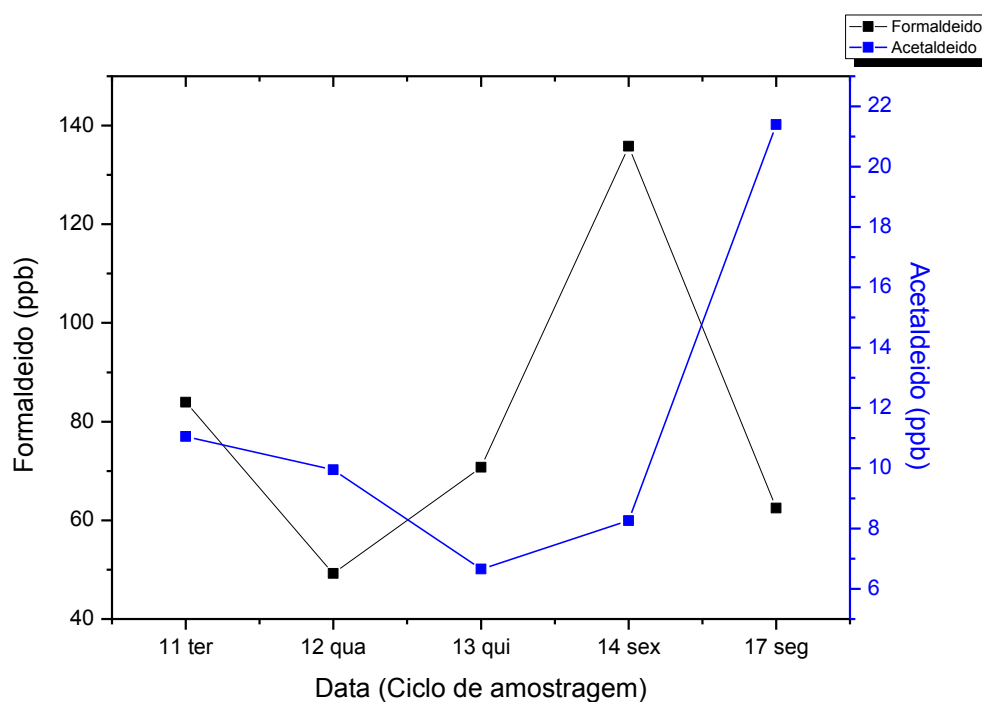
| Data | FA (ppbv) | FA mg m ⁻³ | AA (ppbv) | AA mg m ⁻³ |
|-------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| 11.08.15(terça) | 84 | 0,15 | 11 | 1,3x10 ⁻² |
| 12.08.15(quarta) | 49 | 0,09 | 10 | 1,2x10 ⁻² |
| 13.08.15(quinta) | 71 | 0,13 | 7 | 8,6x10 ⁻³ |
| 14.08.15(sexta) | 136 | 0,24 | 8 | 9,8x10 ⁻³ |
| 17.08.15(segunda) | 62 | 0,11 | 21 | 2,5x10 ⁻² |

Fonte: o autor

As análises realizadas demonstram que a concentração máxima do FA ocorreu no quarto ciclo de amostragem (14/08, sexta) e a mínima no segundo ciclo (12/08, quarta). Para AA, a concentração máxima obtida foi no segundo ciclo (17/08, segunda), e a mínima no quinto ciclo (14/07, sexta).

Analisando os resultados individualmente de FA e AA verificamos que embora a concentração do FA apresente concentração superior ao AA, na sexta-feira 14/08 onde ocorreu a maior concentração de FA verificou-se a menor concentração de AA.

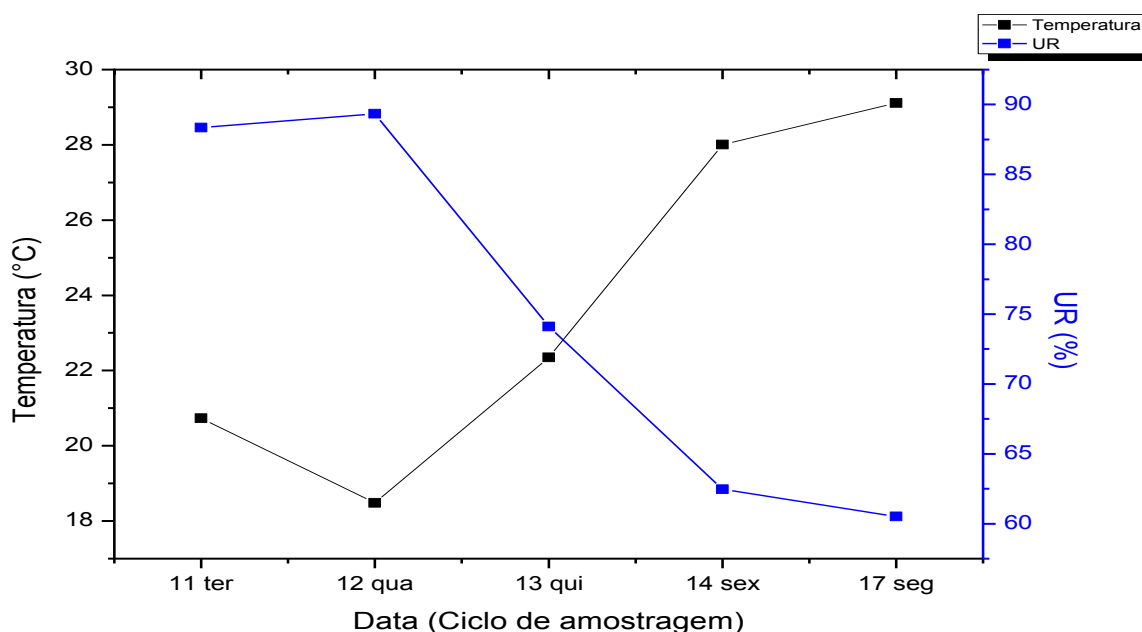
Figure 19 - Concentrações diárias de FA e AA obtidos nos ciclos de amostragem em Agosto de 2015.



Fonte: o autor

Como é possível verificar nos dados na figura 19 de maneira geral o FA apresentou período de amostragem valores mais elevados em relação ao AA supõe-se que não se trata da mesma fonte, o acetaldeído encontrado pode ser oriundo da emissão do escapamento de um automóvel de carga que era utilizado para entrega dos móveis, por vezes esse veículo estacionava dentro da fábrica e o motor era deixado em funcionamento durante o carregamento.

Figura 20 - Média diária de temperatura (T) (°C) e umidade relativa (UR) (%) no interior da fábrica.



Fonte: o autor

Comparando-se a emissão do FA na figura 19 e os níveis de temperatura evidenciados na figura 20 pode-se verificar que exceto para o dia 17 (seg) 5 ciclo de amostragem os demais dados apresentam similaridade, a molécula de formaldeído é volátil então pode-se sugerir que quanto maior a temperatura do ambiente maior será a emissão desse composto. Ainda tratando do perfil de emissão do FA devido a sua elevada afinidade com a água a hipótese inicial é que quanto maior fosse a umidade relativa maior seria a concentração no ar ambiente o que não foi observado nos resultados obtidos. Conclui-se que pelos dados analisados, embora seja um ambiente fechado, existem muitas variáveis que podem ter influenciado esses resultados, talvez a maior variável esteja relacionado ao processo produtivo o tipo de chapa utilizada, diferentes lotes e fabricantes.

Os resultados obtidos para o AA comparando com os dados de UR e T verifica-se uma semelhança relacionada aos valores encontrados na temperatura, mas não é possível estabelecer uma relação segura.

Comparando os resultados obtidos com NR 15 do ministério do trabalho, NIOSH e OSHA é possível verificar que as amostras não excederam os limites máximos fixados pelas agências reguladoras.

4.2. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Na tabela 8 demonstram-se os coeficientes de correlação entre as variáveis: temperatura, umidade relativa, formaldeído e acetaldeído.

Tabela 8 - Correlação entre as variáveis estudadas.

| | T | UR | FA | AA |
|------------------|------|-------|-------|------|
| Temperatura | 1 | | | |
| Umidade Relativa | 0,97 | 1,00 | | |
| Formaldeído | 0,50 | -0,45 | 1,00 | |
| Acetaldeído | 0,52 | -0,40 | -0,34 | 1,00 |

Fonte: o autor. (T) temperatura; (UR) umidade relativa; (FA) formaldeído; (AA) acetaldeído.

Com base nos dados apresentados na tabela 8 verifica-se que o coeficiente de correlação entre FA e a temperatura alcançou o valor de +0,50 esse nível de correlação pode ser considerado moderado (FONSECA et al, 1996). Assim, embora se possa afirmar que existe correlação positiva entre o percentual de FA e temperatura, o relacionamento linear é considerado moderado entre essas duas variáveis, ou seja, quanto maior a temperatura maior a concentração de FA.

A análise da correlação entre o FA e a UR apresentou conforme tabela 09 um valor de -0,45. Esse nível de correlação pode ser considerado moderado com relacionamento negativo, ou seja, significa que uma variável tem comportamento oposto a outra, então isso significa supor que quanto maior for a umidade relativa menor a concentração de FA

Conforme segue o FA e AA demonstrou um relacionamento negativo com resultado de correlação -0,34 considerada fraca, com já descrito anteriormente pode-se sugerir que o AA seja provenientes de fontes diferentes.

Situação muito similar é possível verificar na correlação entre o AA e temperatura que apresentou coeficiente de +0,52, indicando uma relação linear positiva, enquanto que o coeficiente entre a variável AA e umidade relativa apresentou relacionamento negativo de -0,40 considerado moderado.

4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

Na tabela 09 serão apresentados os resultados obtidos na análise gravimétrica de MP, os perfis de emissões MP em diferentes tamanhos e a sua distribuição por tamanho.

Tabela 9 - Relação dos resultados obtidos na análise gravimétrica de MP obtidos na campanha entre os dias 11 a 14 e 17 de agosto de 2015.

| Data | Amostrador | [] $\mu\text{g m}^{-3}$ | Amostrador | [] $\mu\text{g m}^{-3}$ | Amostrador | [] $\mu\text{g m}^{-3}$ |
|----------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| 11.08.15 | MP _{1,0} | 425,8 | MP _{2,5} | 1181 | MP ₁₀ | 4920 |
| 12.08.15 | MP _{1,0} | 25,17 | MP _{2,5} | 1025 | MP ₁₀ | 5649 |
| 13.08.15 | MP _{1,0} | 47,33 | MP _{2,5} | 19,23 | MP ₁₀ | 166,9 |
| 14.08.15 | MP _{1,0} | 194,0 | MP _{2,5} | 28,00 | MP ₁₀ | 62,00 |
| 17.08.15 | MP _{1,0} | 27,00 | MP _{2,5} | 119,0 | MP ₁₀ | 1337 |

Fonte: o autor

Concentração de MP_{1,0} variou entre 25,17 (12.08 quar.) a 425,8 (11.08 ter.) $\mu\text{g m}^{-3}$ com valor médio de $143,0 \pm 43 \mu\text{g m}^{-3}$, o MP_{2,5} variou de 19,23 (13.08 quin) $\mu\text{g m}^{-3}$ a 1181 (11.08 ter) $\mu\text{g m}^{-3}$ com valor médio de $474 \pm 42 \mu\text{g m}^{-3}$; a concentração de MP₁₀ variou entre 62 (14.08 sexta) a 5649,28 (11.08 ter.) $\mu\text{g m}^{-3}$ com valor médio de $2426 \pm 45 \mu\text{g m}^{-3}$.

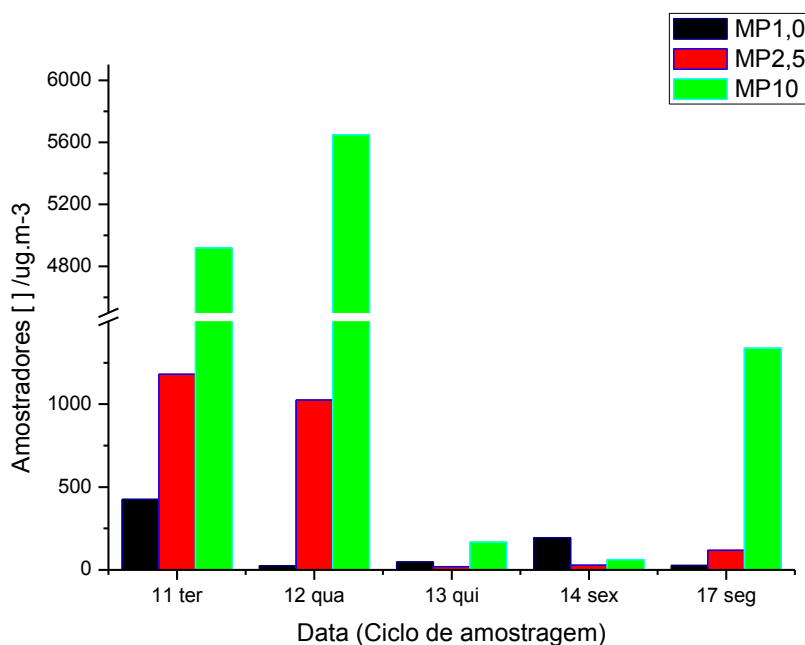
Concentrações maiores de MP foram observadas nos dias 11.08 terça-feira e 12.08 quarta-feira, (exceto para o MP_{1,0}) o que pode estar relacionado aos processos produtivos, houve maior emissão de MP em função das operações de corte e lixadeira; outro fato ocorrido no ciclo 02 de amostragem dia 12.08 quarta-feira houve colheita do milho (plantação do lado oposto à fábrica) ocasionando ressuspensão de solo, o que pode ter contribuído para o nível de concentração de MP₁₀ que apresentou elevação superior em relação aos demais ciclos de amostragem. Embora o galpão da fábrica seja fechado por vezes no decorrer do dia

o portão era mantido aberto para carga e descarga, o que pode explicar essa interação do ar interior e o exterior.

Ainda convém citar que valores significativos de $MP_{2,5}$ foram observados nos dias 11, 12 e 17 de agosto, o que se verificou também na concentração de MP_{10} para os mesmos ciclos.

Os resultados do dia 14.08 verifica-se que a concentração do $MP_{1,0}$ demonstra valores mais elevados em comparação com as concentrações do $MP_{2,5}$ e MP_{10} , durante o processo de coleta muitas são as variáveis que podem ocorrer, problemas no amostrador, vazão das bombas coletoras ou mesmo uma situação atípica (limpeza utilizando jato de ar comprimido em alguma peça produzida em algum momento desse dia), observou-se em alguns momentos, os colaboradores finalizando peças próxima a bancada dos coletores, os ajustes finos podem ter contribuído para elevação dessas partículas.

Figure 21 - Concentração de material particulado em $\mu\text{g m}^{-3}$ nas frações $MP_{1,0}$, $MP_{2,5}$ e MP_{10} amostradas diariamente no ambiente interno.



Fonte: o autor.

As concentrações nas frações fina (menor que $2,5 \mu\text{m}$) e grossa (menor que $10 \mu\text{m}$) apresentada na figura 21 demonstra variações nas concentrações, no

decorrer das amostragens verifica-se maiores concentrações, para todos os perfis amostrados nos dias 11 e 12 de agosto.

As menores concentrações foram observadas para os dias 13 e 14 de agosto, o que pode ser explicado pela ausência de operações, como corte e lixadeira industrial, somente montagem de móveis, onde foram necessários ajustes finos com lixa manuais, e número menor de colaboradores na fábrica que atenuam também a ressuspensão das partículas depositadas no piso da fábrica.

Estabelecendo como comparação entre os resultados encontrados e os limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (WHO), que conforme já mencionado institui concentração máxima diária de $25 \mu\text{g m}^{-3}$ para a fração $\text{MP}_{2,5}$ e, para a fração MP_{10} o limite diário de $50 \mu\text{g m}^{-3}$, não regulamentam as partículas ultrafinas (menores que $\text{MP}_{1,0}$) tanto os resultados de $\text{MP}_{2,5}$ como MP_{10} evidenciam valores muito acima desse limite, ainda que para o MP_{10} em três dessas amostras apresentaram resultados que merecem atenção.

Visto que os operadores ficam expostos por 9 horas diárias 5 dias por semana, o nível de exposição a essa concentração de material particulado, pode trazer riscos a saúde. Segundo a WHO (2011) a exposição crônica ao MP contribui para o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares e respiratórias, assim como de câncer de pulmão.

Um estudo de *follow-up* de 6 anos na indústria de móveis dinamarqueses investigou a relação entre exposição ao pó de madeira e as doenças respiratórias. Isto foi feito a fim de investigar a tendência da exposição ao pó de madeira e o comprometimento respiratório entre marceneiros empregados na indústria moveleira em uma área geográfica bem definida. A exposição foi principalmente fibra longa (pinheiros, abetos) e de madeira placas (painéis de partículas e MDF de média densidade), que revelou dose resposta inalável entre a concentração do pó de madeira e sintomas respiratórios, inchaço agudo da mucosa nasal, o aumento da reatividade hiper brônquica e um declínio agudo da função pulmonar (SCHLUSSEN; JACOBSEN, 2008).

4.4. DOSE DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL

Considera-se em média que um ser humano respira entre 20 e 30 kg de ar diariamente, isto é significativo em relação a outras formas de ingestão (comida e bebida sendo 3 - 4 kg por dia). Apesar do corpo filtrar espontaneamente e eliminar a grande parte do ar inalado sem absorção de muitos componentes, as medidas de proteção biológicas não são completamente eficientes e partículas podem entrar, e fixarem dentro da árvore brônquica e sacos alveolares onde os componentes tóxicos, incluindo agentes cancerígenos suspeitos, podem ser absorvidos lentamente (BENETT, 2009). Na tabela 10 podemos observar a taxa de exposição individual calculada para o ambiente estudado.

Tabela 10 - Taxa de exposição calculada considerando uma vazão de respiração de 15,2 m³ por dia adotando uma média de 80 kg por indivíduo.

| Data | Amostrador | ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$) | Amostrador | ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$) | Amostrador | ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$) |
|--------------|-------------------|--|-------------------|--|------------------|--|
| 11 | MP _{1,0} | 0,9 | MP _{2,5} | 8,9 | MP ₁₀ | 36 |
| 12 | MP _{1,0} | 0,1 | MP _{2,5} | 7,7 | MP ₁₀ | 42 |
| 13 | MP _{1,0} | 0,3 | MP _{2,5} | 0,2 | MP ₁₀ | 1,2 |
| 14 | MP _{1,0} | 1,4 | MP _{2,5} | 0,2 | MP ₁₀ | 0,5 |
| 17 | MP _{1,0} | 0,6 | MP _{2,5} | 2,8 | MP ₁₀ | 10 |
| Média | MP _{1,0} | 0,7 | MP _{2,5} | 4,0 | MP ₁₀ | 18 |

Fonte: o autor

Volume de ar inalado conforme (EPA 2001) por um homem adulto na faixa de 19-65 anos é de 15,2 m³ dia⁻¹, e de acordo com a informação de Bennet (2009) são 30 kg de ar inalado por dia. Cada indivíduo respira em média 0,7 μg para cada kg de ar por dia inalado de partículas da fração de MP_{1,0}, de diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 1 μm , consideradas partículas respiráveis finas, tão pequenas que são capazes de passar pelo trato respiratório, atingir os brônquios e por capilaridade alcançar a corrente sanguínea, impactando diretamente na saúde dos trabalhadores expostos a esse poluente.

A média para $MP_{2,5}$ é de 4 μg para cada kg de ar por dia inalado de diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 2,5 μm como já mencionado anteriormente, esse tamanho de material particulado chamado de fração torácica, capaz de atingir os aveolos pulmonares e pode ficar depositado na região traqueobronquial, causando efeitos adversos a saúde.

Seguindo com a média de MP_{10} verifica-se 18 μg para cada kg de ar por dia inalado de diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 10 μm , considerado material particulado inalável pode ficar retido na parte superior do sistema respiratório na região das narina e boca, agravando problemas respiratórios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na pesquisa realizada nas bases de dados de periódicos da Capes, *Science Direct*, Google Acadêmico, não foi encontrado estudos correlacionados ou direcionados em análise de ambientes internos de pequenas empresas de móveis planejados. Desta maneira, não foi possível traçar um comparativo direto entre as variáveis estudadas. Nos estudos realizados por Abdullahi, K.L. et al. (2013), Alves, Célia A (2012) e Brito, J. et al. (2011), Kim, Jeonghoon et al. (2013) ainda Jurvelin, J. et al. (2014), Missia, D.A. et al. (2010), Marc', M. et al. (2012), Nogueira, T. et al. (2015), Petri, Thomas et al. (2014), Qingyang, L. et al. (2013), Saraga, D. et al. (2011) em ambientes internos utilizando metodologia similar a adotada nesse experimento analisaram ambientes internos como hospitais, bibliotecas, casas, apartamento, escritórios de trabalho em edifícios selados (ar condicionado), indústrias gráficas, entre outros.

Em função da dificuldade que há ao fazer campanhas de análises ambientais em indústrias privadas, ainda que obteve-se autorização do empresário e apesar da explanação que foi realizada aos funcionários do estudo que seria desenvolvido, as especulações geradas pelos mesmos no decorrer do período de amostragem, acabou por gerar desconforto ao empresário, que gentilmente havia cedido o espaço para a pesquisa, o que inviabilizou a possibilidade de estender as coletas, portanto, a coleta foi limitada ao período de cinco dias, durante jornada de trabalho de 9 horas período diurno.

As concentrações de aldeídos e MP presentes na atmosfera, sobretudo em ambientes com pouca circulação de ar, necessitam de constante monitoramento devido ao alto potencial toxicológico, carcinogênico e mutagênicos intrínsecos.

Os resultados do formaldeído e acetaldeído indicam valores elevados, porém abaixo dos limites estabelecidos pelas agências consultadas NIOSH, OSHA e NR 15 do ministério do trabalho, no entanto como já relatados em estudos anteriores, exposições pessoais são difíceis de prever com precisão.

Diversos são os fatores que influenciam nos resultados das análises, as variáveis são inúmeras para um ambiente real de amostragem, é importante também avaliar o tipo de chapa, o lote utilizado e, o tempo de formação, sabe-se que a concentração do FA vai decaindo com o passar do tempo.

De acordo com os dados experimentais de concentração de material particulado nas frações inaláveis e respiráveis para o ambiente interno de uma fábrica de móveis sugerem uma relação direta com às atividades produtivas, onde se observou que os dias que havia manipulação das chapas de MDF houve maior concentração de MP.

Os níveis potenciais de exposição por indivíduo foram calculados com base na média das amostragens diárias, conclui-se que mesmo com o uso de EPIs os trabalhadores estão expostos a inalação de partículas que podem causar efeitos adversos a saúde.

Estudos da IARC (1995) classificam a poeira de madeira como carcinogênica e sabe-se que as partículas finas são mais perigosas a saúde. Em média os níveis de material particulado encontrados nos ciclos de amostragem estavam acima dos limites estabelecidos pelas agências regulamentadoras WHO, EPA e CONAMA 03 consultadas, podendo sugerir necessidade de melhorias no sistema de exaustão, para diminuir os riscos de doenças ocupacionais.

Historicamente muito já foi feito no sentido de melhorar as condições ambientais, a criação de leis e normas regulamentadoras, que junto à fiscalização das indústrias, minimizaram as cargas poluidoras, porém há muito a ser feito, principalmente no que se refere ao controle do material particulado em ambiente interno, como é possível observar na revisão bibliográfica as legislações consultadas não são específicas para ambiente ocupacional.

Finalmente como sugestão de pesquisas futuras propõe-se replicar o presente estudo de concentração de formaldeído, acetaldeído e material particulado em pequena empresa de móveis planejados.

6. BIBLIOGRAFIA

ABDULLAHI, K. L., DELGADO-SABORIT, J. M., HARRISON, R. M. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. **Atmospheric Environment**, Arabia Saudi, v. 71, p. 260- 294, 2013.

ALVES, Célia A. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Química Nova**, Portugal, v. 35, n. 10, p.2025-2039, 2012.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RE nº 899, de 29 de maio de 2003. Determina a publicação do "Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos", **Diário Oficial da União**, p.1-15, 2002.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Ed. Bookman. 4 edição p.134-177, 2011.

BENETT, A. Strategies and technologies controlling indoor air quality. **Indoor air quality control**, p.1-6, 2009.

BERND, M., ZIELINSKA B., FUJITA E.. **Environmental sampling for trace analysis**. VCH, v.14, p.172-173, 1994.

BRASIL, A.. Ministério do Trabalho Portaria nº 3751 de 23 de Novembro de 1990 – Norma Regulamentadora NR 15. Consolidação das leis do trabalho relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. **Ministério do trabalho e emprego**. 26 Nov. 1990. *Seção 1, (22.p.576-22.577), Nov. 1990.*

BRASIL, B. Lei 7.804 de 18 de julho de 1989 dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. CONAMA Nº 03 de 1990. **Ministério do meio ambiente**, p. 15.937-15.939, jan.1990.

BRITO, J.; QUITÉRIO, STOWINSKI, L., SILVA, V.; ARBILLA, G. Composição da atmosfera e dos precursores de ozônio em campos elíseos, Duque de Caxias, RJ. **Instituto de Química da UFRJ**, v.3 , p . 1-2, 2011.

BUCZYŃSKA, A. J. Composition of PM_{2.5} and PM₁ on high and low pollution event days and its relation to indoor air quality in a home for the elderly. ***Science of the Total Environment***, v.490 p.134–143, 2014.

CETESB, **Companhia ambiental do estado de São Paulo**. Concentrações de formaldeído e Acetaldeído na atmosfera. Estação Pinheiros, São Paulo SP,p.1-30, 2015.

DALES, R., Liu, L., Wheeler A. J., Gilbert, N. L.,. Quality of indoor residential air and health. **Canadian Medical Association or its licensors**, Canadá,v.179, n.2, p.147-152, 2008.

DONG, M.W. **Modern HPLC for practicing scientists**. Canada, Ed. Wiley Interscience. p. 23-26, 2006.

EPA. **United States Environmental Protection Agency**. *Disponível em:* <<http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/designations/2012standards/index.htm>>. *Acesso em 22 de nov 2014*

EUA. - Alterações das ações de controle de substâncias tóxicas em compositos de madeira. **Senado e Câmara dos Representantes** - Lei S.1660, Estados Unidos, 2010.

FINLAYSON-PITTS B. J. ;PITTS, J. N. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere Theory, Experiments, and Applications . **Academic Press**, 2000.

FONSECA, Jairo Simon da, MARTINS, Gilberto de Andrade, TOLEDO, Geraldo Luciano. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Editora Atlas, 6 edição, p. 80-85, 1996.

GODFAURD, J., Clements, D., & Howe, J. A Conceptual Approach to Determine Optimal Indoor Air Quality: A Mixture Experiment Method. **School of Built and Natural Environment**, University of Central Lancashire, Preston,p. 5-12, 2010.

GUPTA, A., & BHANDARI, M. Monitoring and control of particulate matter in indoor air: A review, ***Journal of Applied and Natural Science***, India, v.3, n.1,p.139-150, 2011.

IARC, I. A. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Wood dust and formaldehyde. **World Health Organization**, França, v.62, p. 59-65, 1995.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: jun 2014.

JURVELIN, J., Edwards, R., Vartiainen, M., Pasanen, P., & Jantunen, &. Residential Indoor, Outdoor, and Workplace Concentrations of Carbonyl Compounds: Relationships with Personal Exposure Concentrations and Correlation with Sources. London, **Taylor & Francis**, v.53, p. 37-41, 2014.

KAUPPINEN T. Vincent R, L. T. Occupational exposure to inhalable wood dust in the member states of the European Union. **Ann Occup Hyg**, p. 50-61, 2006.

KIM, Jeonghoon, Kim, SEOJIN, LEE, Kiyoung, YOON, Dongwon, LEE, Jiryang, JU, DaeYoung. Indoor aldehydes concentration and emission rate of formaldehyde in libraries and private reading rooms. **Atmospheric Environment**, Korea, v.71, p.1-6, 2013.

MACIEL, S. L. **A influência da poeira de madeira nos sintomas respiratórios e na função pulmonar de indivíduos expostos na indústria de moveis e esquadrias**. 70 fls, Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental). Universidade Feevale. Novo Hamburgo, 2012.

MARC', M., Zabiegała, B., NAMIES'nik, J.. Testing and sampling devices for monitoring volatile and semi-volatile organic compounds in indoor air. **Trends in Analytical Chemistry**, v.32,p.383-393, 2012.

MISSIA, D. A., DEMETRIOU E., MICHAEL N., TOLIS E.I., BARTZIS, J.G.. Indoor exposure from building materials: A field study. **Atmospheric Environment**, Greece, v.44, p.4388-4395, 2010.

MOVERGS. **Sindicato Moveleiro Rio Grande do Sul-Brasil** - RS. Disponível em <<http://www.movergs.com.br>>. Acesso em: 01 de junho 2014.

MUHAMEDAGIC, L., & MUHAMEDAGIC, B. "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology". **14th International Research/Expert Conference**. Bosna i Hercegovina, p. 11-18, 2010.

NOGUEIRA, Thiago, SOUZA, Kely Ferreira de, FORNARO, Adalgiza, ANDRADE, Maria de Fatima, CARVALHO, Lilian Rothschild Franco de. On-road emissions of carbonyls from vehicles powered by biofuel blends in traffic tunnels in the metropolitan Area of Sao Paulo, Brazil. **Atmospheric Environment**, São Paulo, Brasil, v.108, p. 88-97, 2015.

OZALP, M. K. The effects of adding the aluminum sulfate to the urea formaldehyde adhesive applied on plywood. **International Journal of Physical Sciences**.v.8 p.19, 2013.

PARANÁ. **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Híbridos do Paraná** (SEMA) Resolução nº 54 de 22 dez 2006. Define critério para Controle de Qualidade do Ar, 2006.

PETRY, Thomas, VITALE, Danielle, JOACHIM Fred J., SMITH, Ben, CRUSE, Lynn, MASCARENHAS, Reuben, SCHNEIDER, Scott, SINGAL, Madhuri. Human health risk evaluation of selected VOC, SVOC and particulate emissions from scented candles. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, United States v.69, p.55–70, 2014.

PINTO, J. P.; MARTINS, L. D.; SABINO, F. C.; AMADO, I. R.; SOLCI, M. C. Caracterização de MP_{2,5} e MP₁₀ em ar ambiente de estacionamento

fechado de estabelecimento comercial em Londrina-Paraná. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 6, n. 2, p. 75-81, 2014.

QINGYANG, L., YANJU L.,*, MEIGEN, Z. Personal exposure and source characteristics of carbonyl compounds and BTEXs within homes in Beijing, China. **Building and Environment**, Beijing, China, v.61, p. 210-216, 2013.

REMADE, R. **Processo produtivo de chapa de fibra de media densidade (MDF)**. Disponível em <<http://www.revistadamadeira.com.br>>. Acesso em: 26 de maio 2014.

SANDNER, F., Dott, W., Hollender, J. Sensitive indoor air monitoring of formaldehyde and other carbonyl compounds using the 2,4-dinitrophenylhydrazine method. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**. V.203, p. 275-279, 2001.

SANTOS, A. M. A. O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho. **FUNDACENTRO**.p.42-53, 2001.

SARAGA, D., PATERAKI S., PAPADOPOULOS A., VASILAKOS Ch., MAGGOS, Th.. Studying the indoor air quality in three non-residential environments of different use: A museum, a printery industry and an office. **Building and Environment**, Greece, v.46, p.2333-2341, 2011.

SIMA. (2014). **Sindicado da Indústria de Móveis de Arapongas**. Disponível em: <http://www.sima.org.br>. Acesso em 05 de maio 2014.

SIMEPAR. **Instituto Tecnológico Paraná**. Disponível em <<http://www.simpar.br>>. Acesso em agosto 2014.

SCHLUSSEN V., JACOBSEN G, E. M.. Determinants of wood dust exposure in the danish furniture industry--results from two cross-sectional studies 6 years apart. **Ann. Occup. Hyg**, Dinamarca, v. 52, n.4, p. 227–238, 2008.

TANG, X., Bai, Y., Duong A., Smith M. T., Li, L., Zhang L.(2009). Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects, Berkeley, CA.

Environment International

,v.35, p.1210–1224, 2009.

TONHI, E. **Preparação de colunas para cromatografia líquida de alta eficiência recheadas com polissiloxanos (C1, C8 e C14) imobilizados sobre partículas de sílica porosa de 5 µm. Campinas.** Tese (Doutorado em Química), Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

TORO, A. R., Canales, M., G. Flocchini, R., G.E. Morales, R., & A. Leiva G., M. Urban Atmospheric Ammonia in Santiago City. **Aerosol and Air Quality Research**, Chile, v.14,p.33-44, 2014.

USEPA. Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air, Second Edition, Method TO-11. U.S. **Environmental protection Agency** (EPA), 1999.

ZABIEGALA, B. Organic Compounds in Indoor Environments, review. **Polish J. of Environ. Stud.** v. 15, n. 3, p.383-393, 2006.

ZHANG, J., & Liroy, P. J. Human exposure assessment in air pollution systems. **The Scientific World Journal**, v.2, p. 497-513, 2002.

WESTON, A., Brown, P. R. HPLC and CE : fundamentals and applications. High Performance liquid Chromatography. San Diego, **Academic Press**, 1997. p. 26-30

WHO. Air quality in Europe — report. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. European Environment Agency p. 9 – 11, 2011.

ANEXO

Certificado de análise da mistura padrão 7 compostos carbonílicos.

TraceCERT[®]
Traceable Certified Reference Materials

SUPELCO
Solutions within.[™]
595 North Harrison Road · Bellefonte, PA
16823-0048 USA · Phone(814)359-3441

Certificate of Analysis

Description: Japanese DNP-Aldehyde 7 Component Mix, 1x1ml, 100µg/ml in ethyl acetate

Part Number: CRM52682

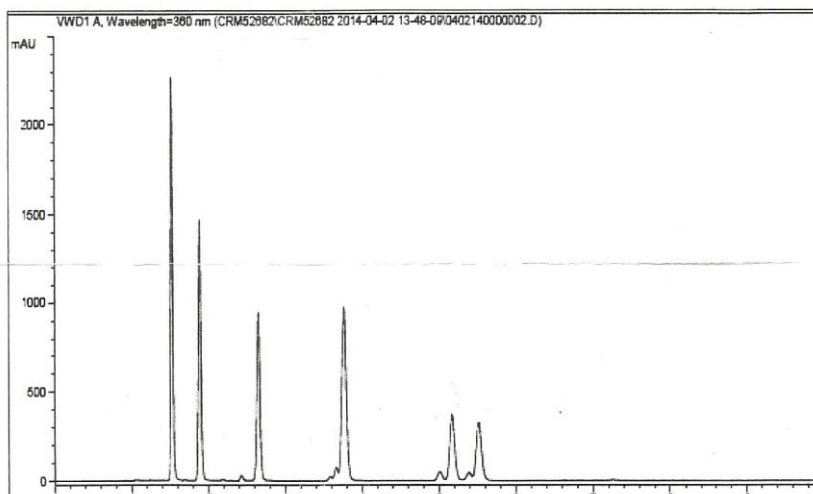
Lot Number: LC04928V

Expiration Date: December 2016

Storage: Refrigerate

Analytical Method Parameters:

Column: Ascentis Express C18 15cm x 4.6mm 2.7µm
Acetonitrile/Water: 0 min 60/40%, 7 min 60/40%; 20min
100/0%; 20.5 min 60/40%
Detector: UV-360nm
Injection Volume: 2.0uL



| Elution | Analyte | CAS Number | Certified Purity % | Certified Derivative Gravimetric Conc. µg/ml | Certified Functional Gravimetric Conc. µg/ml | Expanded Uncertainty µg/ml | Analytical Conc. µg/ml |
|---------|-------------------------------|------------|--------------------|--|--|----------------------------|------------------------|
| 1. | Formaldehyde-2,4-DNPH | 1019-57-4 | 99.9 | 700.0 | 100.0 | ±2.2 | 100.8 |
| 2. | Acetaldehyde-2,4-DNPH | 1019-57-4 | 99.9 | 509.0 | 100.0 | ±2.3 | 97.4 |
| 3. | Propionaldehyde-2,4-DNPH | 725-00-8 | 97.6 | 410.4 | 100.1 | ±1.8 | 100.8 |
| 4. | Isobutyraldehyde-2,4-DNPH (1) | 2057-82-1 | 97.4 | 350.1 | 100.0 | **** | **** |
| 5. | Butyraldehyde-2,4-DNPH (1) | 1527-98-5 | 99.9 | 350.0 | 100.0 | **** | **** |
| 6. | Isovaleraldehyde-2,4-DNPH | 2256-01-1 | 97.0 | 309.0 | 100.0 | ±2.1 | 99.1 |
| 7. | Valeraldehyde-2,4-DNPH | 2057-84-3 | 99.6 | 309.0 | 100.0 | ±2.0 | 100.2 |



Cert# AT-1607



Cert# AR-1606

Produced in double accredited
laboratory fulfilling

ISO/IEC 17025 and
ISO Guide 34

Page 1 of 2

SIGMA-ALDRICH