

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CENTRO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ELENISE LEOCÁDIA DA SILVEIRA NUNES

ANÁLISE DOS AERODISPERSÓIDES SÓLIDOS PRODUZIDOS NA
INDUSTRIALIZAÇÃO DA MADEIRA

CURITIBA

2008

ELENISE LEOCÁDIA DA SILVEIRA NUNES

**ANÁLISE DOS AERODISPERSÓIDES SÓLIDOS PRODUZIDOS NA
INDUSTRIALIZAÇÃO DA MADEIRA**

Tese de Doutorado, apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal, área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Moreschi

CURITIBA

2008

Nunes, Elenise Leocádia da Silveira

Análise dos aerodispersóides sólidos produzidos na industrialização da madeira/ Elenise Leocádia da Silveira Nunes – Curitiba, 2008. (color).

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Moreschi

Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Palavras-chave: aerodispersóide sólido, poeira sólida do aglomerado, risco ocupacional, ergonomia.

Ao Carlos, Fernanda e Eduardo
Razões do meu viver!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades colocadas em meu caminho, pelas opções de escolha que me foram dadas e pela certeza de seguir pelo caminho certo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Carlos Moreschi, pela dedicação, apoio e confiança na minha capacidade de realização.

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Zannin, pelo auxílio no desenrolar da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR) que possibilitou a realização deste trabalho e ao apoio e incentivo dado pela Prof^a. Dr^a. Graciela Bonzón de Muniz, Prof. Dr. Setsuo Iwakiri, Prof. Dr. Umberto Klock e Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

À empresa fabricante de painéis de madeira aglomerada, pelo apoio à pesquisa acadêmica;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo ao desenvolvimento de pesquisas de caráter científico.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio às pesquisas técnicas e científicas e aos colegas Prof^a. Ms. Eliane Betazzi Seleme, Prof^a. Ms. Josiane Lazaroto Riva, Prof. Dr. Júlio César Klein das Neves e Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai, pela confiança depositada.

Ao Laboratório de Análises Toxicológicas e Ambientais (LATAM) e ao Prof. Ms. Fábio Godinho de Castro pela realização da análise química no material amostrado.

Aos colegas do Departamento de Desenho Industrial da UTFPR, pelo apoio e compreensão.

Aos amigos Allan, Cristiano, Edgard, Lenoir, Lourival e Sérgio pelo suporte técnico.

À toda a minha família, pela paciência nas ausências, incentivo nos momentos difíceis e alegrias compartilhadas durante estes “quatro longos anos” de trabalho e principalmente a minha mãe pelo apoio, segurança e incentivo.

É importante saber que
as pessoas entram na nossa vida por alguma razão.
Às vezes por pouco tempo, às vezes por uma vida inteira;
mas sempre deixam a sua marca, a sua contribuição e a sua lembrança.
À todas as pessoas que estiveram comigo durante estes quatro anos de trabalho,
seja me ajudando a executar a pesquisa
ou apenas dizendo uma palavra de incentivo e carinho.
Muito obrigado!

Depois de algum tempo você aprende,
que ou você controla seus atos ou eles o controlarão,
e que ser flexível não significa ser fraco ou não ter personalidade,
pois não importa quão delicada e frágil seja uma situação,
sempre existem dois lados.

William Shakespear

RESUMO

Na caracterização das atividades econômicas, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), a indústria de base florestal ocupa posição em dois setores distintos: no setor primário ou seja extrativismo, silvicultura, manejo e exploração florestal; e no setor secundário com as indústrias de transformação da madeira englobando desde a fabricação de painéis de madeira até a confecção de artigos de mobiliário. Estes setores geram vários empregos diretos e indiretos e, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2006), estatisticamente, 8,7% dos trabalhadores da indústria de transformação pertencem ao setor de base florestal. Entretanto, dados extra-oficiais do setor indicam que tem-se quatro vezes mais mão-de-obra informal do que com registro em carteira. Para a indústria de base florestal, a madeira maciça sempre foi a principal matéria-prima do seu processo produtivo, entretanto nos últimos anos este panorama tem-se modificado significativamente. Atualmente, o setor processa em grande escala a chamada madeira transformada, formada por pedaços, lascas, partículas ou fibras de madeira que são unidas sob o efeito de calor e pressão, a partir da utilização de um elemento aglutinante ou resina. Desta forma, o objetivo deste estudo foi analisar os problemas causados à saúde do trabalhador da indústria de base florestal pela poeira sólida dispersa no ar, gerada a partir do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada, propondo ações para minimizar o risco da exposição ocupacional que os trabalhadores podem estar sujeitos. Como ferramentas de análise foram utilizados métodos para análise de aerodispersóide sólido regulamentadas por órgãos normatizadores reconhecidos internacionalmente como a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), a *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e a Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO); além de conceitos advindos da ergonomia organizacional, que conciliam as necessidades da empresa com as dos trabalhadores, através da análise da tarefa prescrita e da efetivamente realizada. Assim sendo, o particulado sólido do aglomerado foi caracterizado como potencialmente tóxico e passível de desenvolver doenças ocupacionais nos trabalhadores expostos por longo tempo. É importante ressaltar que em estudos de aerodispersóides sólidos o nível de toxicidade do material depende do tempo de exposição ao agente agressor, da concentração de partículas encontrada no ambiente analisado e da variabilidade intra-individual dos sujeitos expostos.

Palavras-chave: aerodispersóide sólido, poeira sólida do aglomerado, risco ocupacional, ergonomia.

ABSTRACT

Into the making-up of the economic activities according to the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006) the forest based industry take place in two different areas: in a primary sector that is extrativism, silviculture, forestal handling and exploration; and in a secondary sector that is the wood manufacturing industries from the manufacturing of wood particleboard until the furniture making. These sectors generate many direct and indirect jobs and according to the Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2006), 8.7% of the wood manufacturing industry workers belong to the forest based sector. However extra-official datas from this sector indicate that there are four more times informal workforce than formal workers. For the forest based industry the solid wood always have been its main raw material in its productive process, but in the last years this scene has been changing a lot. Actually the sector process in large scale the called improved wood made by pieces, chips, particles or fibers of wood that they are united by the effect of heat and pressure using an agglutinative substance or resin. From this, the aim of the present study was analyze the problems caused at forest based industry worker health by the solid airborne dust generated from the mechanic processing of agglomerated wood particleboard suggesting action to minimize the risk of occupational exposing that the workers could be subject. As analyzing tools there were used solid airborne analyzing rules and methods regulated by world known regulatory agencies as the American Conference of Governamental Industrial Hygienists (ACGIH), the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), the Occupational Safety and Health Administration (OSHA), the American Society for Testing and Materials (ASTM) e the Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO); beside concepts from organizational ergonomics that put together the needs of the enterprises and workers analyzing the expected task and the one effectively done. This way the solid particulate from the agglomerated was characterized as potentially toxic and could develop occupational diseases at the workers exposed to it for a long time. It is important to say that in studies of solid airborne the level of toxicity of the material depends of the duration of the exposition on the aggressor agent, the particulate concentration in the analyzed environment and the self-king variability of the exposed subjects.

Keywords: solid airborne, agglomerated solid dust, occupational risk, ergonomics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Determinantes ergonômicos dos procedimentos que englobam a atividade de trabalho	35
Figura 2: Modelo sistemático da situação de trabalho sob a ótica ergonômica	35
Figura 3: Fluxograma da cadeia produtiva da madeira a partir da demanda tecnológica do setor.....	39
Figura 4: Divisão do solo brasileiro de acordo com o tipo de utilização	41
Figura 5: Produção brasileira de painéis de madeira aglomerada	41
Figura 6: Crescimento do consumo de aglomerado comparado com o aumento do PIB em dez anos	42
Figura 7: Estimativa do consumo brasileiro de painéis de madeira aglomerada.....	43
Figura 8: Modelo geral da administração da produção <i>input</i> -transformação- <i>output</i>	46
Figura 9: Medidas de comprimento utilizadas para determinação do diâmetro equivalente em particulado sólido.....	83
Figura 10: Diâmetros geométricos equivalentes para medição de partículas sólidas irregulares.....	84
Figura 11: Seccionadora NS 4.0 da marca S. A. E. Sul Americana Equipamentos ..	91
Figura 12: Bomba de amostragem marca MSA utilizada para coleta do aerodispersóide sólido do aglomerado	94
Figura 13: Imagem do filtro de PVC utilizado para coleta do aerodispersóide sólido do aglomerado, com detalhe de ampliação por microscopia ótica de 50 vezes.....	95
Figura 14: Termo-higrômetro utilizado para registro de variações dos parâmetros ambientais durante a amostragem	95
Figura 15: Instalação dos equipamentos de medição utilizados no local de amostragem.....	96
Figura 16: Caixa de estabilização e dessecação dos filtros	96
Figura 17: Pesagem dos filtros em balança analítica do Laboratório de Química da Madeira.....	97
Figura 18: Fechamento e codificação dos cassetes.....	97

Figura 19: Configuração dos equipamentos para coleta de amostras de poeira total (PT).....	98
Figura 20: Configuração dos equipamentos para coleta de amostras de poeira respirável (PR).....	100
Figura 21: Microscópio ótico BX51M utilizado para a medição do tamanho das partículas sólidas	103
Figura 22: Esquema representativo das áreas dos filtros de PVC analisados através de microscopia ótica	104
Figura 23: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT1A analisado por microscopia ótica.....	105
Figura 24: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT2A analisado por microscopia ótica.....	105
Figura 25: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT2D analisado por microscopia ótica	106
Figura 26: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT3A analisado por microscopia ótica.....	106
Figura 27: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT4A analisado por microscopia ótica.....	107
Figura 28: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT4D analisado por microscopia ótica	107
Figura 29: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT5A analisado por microscopia ótica.....	108
Figura 30: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT5E analisado por microscopia ótica.....	108
Figura 31: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira respirável PR2 analisado por microscopia ótica	109
Figura 32: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira respirável PR4 analisado por microscopia ótica	109
Figura 33: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT2B com particulado de painéis aglomerado com revestimento BP analisado por microscopia ótica.....	110
Figura 34: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT5B com particulado de painéis aglomerado com revestimento FF analisado por microscopia ótica.....	110

Figura 35: Microscópio eletrônico de varredura (MEV) utilizado para a medição....	111
Figura 36: Esquema representativo da área central dos filtros de PVC analisados através de microscopia eletrônica	112
Figura 37: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT1B analisado por microscopia eletrônica.....	113
Figura 38: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT1D analisado por microscopia eletrônica.....	113
Figura 39: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT2F analisado por microscopia eletrônica.....	114
Figura 40: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT3F analisado por microscopia eletrônica.....	114
Figura 41: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT4B analisado por microscopia eletrônica.....	115
Figura 42: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT4E analisado por microscopia eletrônica.....	115
Figura 43: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT5C analisado por microscopia eletrônica.....	116
Figura 44: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT5F analisado por microscopia eletrônica.....	116
Figura 45: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira respirável PR3 analisado por microscopia eletrônica.....	117
Figura 46: Esquema de medição apenas das partículas sólidas contidas dentro do campo microscópico	117
Figura 47: Esquema comparativo do tamanho dos campos microscópios obtidos através de microscopia ótica e microscopia eletrônica.....	118
Figura 48: Imagem do campo microscópico PT1B-003 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central.....	143
Figura 49: Imagem do campo microscópico PT1D-029 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central.....	144
Figura 50: Imagem do campo microscópico PT3F-021 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central.....	144

Figura 51: Imagem do campo microscópico PT4B-021 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central.....	145
Figura 52: Imagem do campo microscópico PT4E-023 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central.....	145
Figura 53: Imagem do campo microscópico PT5C-022 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central.....	146
Figura 54: Imagem do campo microscópico PT5F-024 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central.....	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação nacional de atividades econômicas da indústria de transformação da madeira	38
Quadro 2: Maquinário mais utilizado na indústria moveleira	48
Quadro 3: Classificação dos painéis de madeira aglomerada.....	51
Quadro 4: Propriedades organolépticas das madeiras e da espécie <i>pinus spp.</i>	53
Quadro 5: Componente macrocelulares da madeira de <i>Pinus spp.</i>	54
Quadro 6: Propriedades físico-químicas da uréia	58
Quadro 7: Concentração de formaldeído e sintomas no ser humano	59
Quadro 8: Propriedades físico-químicas do formaldeído	60
Quadro 9: Propriedades físico-químicas da melamina.....	60
Quadro 10: Propriedades físico-químicas do cloreto de amônio	61
Quadro 11: Propriedades físico-químicas do sulfato de amônio	62
Quadro 12: Classificação da poeira sólida quanto ao tamanho da partícula.....	66
Quadro 13: Filtragem do ar inalado pelo sistema respiratório do ser humano	67
Quadro 14: Reações do organismo humano às poeiras sólidas	69
Quadro 15: Porcentagem em massa do particulado sólido para avaliação do risco ocupacional	70
Quadro 16: Classificação da silicose de acordo com o tempo de exposição sofrida pelo trabalhador	71
Quadro 17: Determinação do fator de correção da jornada de trabalho para a realidade brasileira	72
Quadro 18: Limite de tolerância estabelecidos pela ACGIH para alguns particulados sólidos	73
Quadro 19: Cálculo da massa do particulado sólido coletado no ambiente de trabalho através de análise gravimétrica	77
Quadro 20: Fator de correção para o cálculo da massa corrigida do particulado coletado no ambiente de trabalho através de análise gravimétrica	78
Quadro 21: Determinação da concentração de partículas sólidas coletadas no ambiente de trabalho através de análise gravimétrica.....	79

Quadro 22: Determinação do risco ocupacional através da comparação da concentração de partículas coletadas no ambiente de trabalho com o LT_{ACGIH}	79
Quadro 23: Determinação da frequência em massa ou comportamento aerodinâmico de partículas sólidas no ambiente de trabalho	85
Quadro 24: Determinação da porcentagem de sílica cristalina em amostras de particulado sólido.....	86
Quadro 25: Cálculo do limite de tolerância específico para o particulado sólido amostrado.....	87
Quadro 26: Concentração da sílica livre cristalina no particulado sólido amostrado para análise de risco de exposição ocupacional.....	87
Quadro 27: Concentração de formaldeído em particulado sólido amostrado para análise de risco de exposição ocupacional.....	88
Quadro 28: Dados técnicos de interesse da seccionadora NS 4.0	92
Quadro 29: Seleção das partículas para CI e CE do painel aglomerado	93
Quadro 30: Propriedades físico-mecânicas dos painéis de madeira aglomerada.....	93
Quadro 31: Codificação dos cassetes e filtros para amostras de poeira total (PT) ...	99
Quadro 32: Relação das amostras de poeira total (PT) consideradas válidas para a análise e caracterização do particulado sólido do aglomerado .	100
Quadro 33: Codificação dos cassetes e filtros para as amostras de poeira respirável (PR).....	101
Quadro 34: Amostras de particulado coletado sobre a superfície de trabalho	102
Quadro 35: Campos microscópicos dos filtros de poeira total (PT) analisados por espectrômetro de energia dispersiva (EDS)	119
Quadro 36: Síntese dos valores do limite de tolerância (LT) e da concentração de partículas (C) obtidos no ambiente de trabalho analisado na presente pesquisa	183
Quadro 37: Síntese dos valores da concentração de sílica (C_s) e concentração de formaldeído (C_f) obtidos no ambiente de trabalho analisado na presente pesquisa	185
Quadro 38: Síntese dos valores da distribuição de frequência em número obtidos	187
Quadro 39: Síntese dos valores da distribuição de frequência em massa obtidos .	189

Quadro 40: Síntese dos valores de frequência em número e em massa para particulado sólido do aglomerado obtido a partir de painéis <i>in natura</i> , BP e FF.....	190
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados referentes ao primeiro dia de coleta de poeira total (PT)	121
Tabela 2: Dados referentes ao segundo dia de coleta de poeira total (PT)	122
Tabela 3: Dados referentes ao terceiro dia de coleta de poeira total (PT)	122
Tabela 4: Dados referentes ao quarto dia de coleta de poeira total (PT)	123
Tabela 5: Dados referentes ao quinto dia de coleta de poeira total (PT)	123
Tabela 6: Dados referentes a coleta de poeira respirável (PR).....	124
Tabela 7: Dados referentes ao particulado sólido coletado sobre a superfície de trabalho.....	125
Tabela 8: Número de partículas de poeira total medidas por microscopia ótica	126
Tabela 9: Número de partículas de poeira respirável medidas por microscopia óptica	127
Tabela 10: Número de partículas de poeira total medidas por microscopia eletrônica	127
Tabela 11: Número de partículas de poeira respirável medidas por microscopia eletrônica	128
Tabela 12: Concentração de partículas de poeira total sobre o filtro de membrana.....	129
Tabela 13: Concentração de partículas de poeira respirável (PR) coletadas sobre o filtro de membrana.....	130
Tabela 14: Concentração de sílica livre cristalina determinada nas amostras de poeira total (PT).....	132
Tabela 15: Concentração de sílica livre cristalina determinada nas amostras de poeira respirável (PR).....	133
Tabela 16: Limite de tolerância do particulado sólido do aglomerado calculado a partir do material coletado sobre filtro de membrana na fração de poeira total (PT).....	135
Tabela 17: Média da concentração de partículas dos cinco dias de coleta de poeira total (PT).....	137
Tabela 18: Limite de tolerância do particulado sólido do aglomerado calculado a partir do material coletado sobre a superfície do maquinário	139
Tabela 19: Concentração de formaldeído no particulado sólido amostrado.....	141

Tabela 20: Elementos químicos detectados nas partículas analisadas por microscopia eletrônica através do espectrômetro de energia dispersiva (EDS).....	147
Tabela 21: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no primeiro dia de coleta de poeira total (PT1).....	151
Tabela 22: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no segundo dia de coleta de poeira total (PT2).....	152
Tabela 23: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no terceiro dia de coleta de poeira total (PT3).....	153
Tabela 24: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no quarto dia de coleta de poeira total (PT4).....	154
Tabela 25: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no quinto dia de coleta de poeira total (PT5).....	155
Tabela 26: Distribuição de freqüência em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico	157
Tabela 27: Distribuição de freqüência em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, em intervalos de classe logarítmico	159
Tabela 28: Distribuição da freqüência em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico	162
Tabela 29: Distribuição da freqüência em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, em intervalos de classe logarítmico	164
Tabela 30: Distribuição da freqüência em número das partículas de poeira total (PT) do campo de análise 2C, obtidas por microscopia ótica dos painéis aglomerados com acabamento BP, FF e <i>in natura</i> , organizadas em intervalos de classe logarítmico	167

Tabela 31: Distribuição de freqüência em massa das partículas de poeira total (PT) do campo de análise 2C, obtidas por microscopia ótica dos painéis aglomerados com acabamento BP, FF e <i>in natura</i> , organizadas em intervalos de classe logarítmico	170
Tabela 32: Distribuição da freqüência em número das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico	173
Tabela 33: Distribuição da freqüência em número das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico	175
Tabela 34: Distribuição da freqüência em massa das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico	178
Tabela 35: Distribuição da freqüência em massa das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico	180

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparação da concentração média de partículas de poeira total (C_{mPT}) coletadas com o Limite de Tolerância da ACGIH	131
Gráfico 2: Comparação da concentração de partículas de poeira respirável (C_{mPR}) coletadas com o Limite de Tolerância da ACGIH.....	131
Gráfico 3: Comparação da concentração de sílica livre cristalina da amostra com o Limite de Tolerância à sílica cristalina da ACGIH.....	134
Gráfico 4: Comparação entre o limite de tolerância calculado e as concentrações de partículas total e respirável amostradas sobre os filtros de membrana PT1C, PT2E, PT5D e PR1	136
Gráfico 5: Comparação do valor médio do limite de tolerância calculado para a fração de poeira total com a média da concentração de partículas determinada em cada dia de coleta.....	137
Gráfico 6: Comparação do valor do limite de tolerância calculado para a fração de poeira respirável com a concentração de partículas determinada em cada dia de coleta.....	138
Gráfico 7: Comparação do limite de tolerância calculado para o material amostrado com a concentração de média partículas determinada nos dias de coleta de poeira total	140
Gráfico 8: Comparação do limite de tolerância estabelecido pela ACGIH com a concentração de formaldeído calculado nas amostras coletadas.....	142
Gráfico 9: Elementos químicos encontrados no particulado sólido do aglomerado através de análise por EDS	148
Gráfico 10: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no primeiro dia de coleta de poeira total (PT1).....	151
Gráfico 11: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no segundo dia de coleta de poeira total (PT2).....	152
Gráfico 12: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no terceiro dia de coleta de poeira total (PT3).....	153
Gráfico 13: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no quarto dia de coleta de poeira total (PT4)	154
Gráfico 14: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no quinto dia de coleta de poeira total (PT5).....	155

Gráfico 15: Correlação da frequência absoluta em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	158
Gráfico 16: Correlação da distribuição de frequência acumulada em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	158
Gráfico 17: Correlação da frequência absoluta em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	160
Gráfico 18: Correlação da distribuição de frequência acumulada em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	160
Gráfico 19: Correlação da frequência em massa por classe das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	163
Gráfico 20: Correlação da distribuição de frequência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	163
Gráfico 21: Correlação da frequência em massa por classe das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	165
Gráfico 22: Correlação da distribuição de frequência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	165
Gráfico 23: Correlação da frequência absoluta em número das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	168
Gráfico 24: Correlação da distribuição de frequência acumulada em número das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	168
Gráfico 25: Correlação da frequência em massa por classe das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	171

Gráfico 26: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	172
Gráfico 27: Correlação da freqüência absoluta em número das partículas de poeira respirável (PR) obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	174
Gráfico 28: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em número das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	174
Gráfico 29: Correlação da freqüência absoluta em número das partículas de poeira total (PT), na fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	176
Gráfico 30: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em número das partículas de poeira total (PT), na fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	176
Gráfico 31: Correlação da freqüência em massa por classe das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	178
Gráfico 32: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	179
Gráfico 33: Correlação da freqüência em massa por classe das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	180
Gráfico 34: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico	181

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABIMÓVEL	Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário
ABIPA	Associação Brasileira das Indústrias de Painéis de Madeira
ABPMEX	Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Madeira
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ASE	Área Superficial Específica das Partículas
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BP	Baixa Pressão
CE	Camada Externa
CI	Camada Interna
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas-Fiscal
CEN	<i>Comite Europeén de Normalisation</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
CEE	Conselho da Comunidade Econômica Européia
DAMEC	Departamento Acadêmico de Mecânica
DNPH	Dinitro-fenil-hidrazina
DR	Disponibilidade de Resina
ERE	Elétrons Retroespalhados
ES	Elétrons Secundários
EMS	<i>Environmental Monitoring Systems Inc</i>
EPA	<i>U. S. Environmental Protection Agency</i>
EDS	Espectrômetro de Energia Dispersiva
FF	<i>Finish Foil</i>
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMI	Instituto de Estudos e Marketing Industrial
INCA	Instituto Nacional de Câncer

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
LATAM	Laboratório de Análises Toxicológicas e Ambientais
LT	Limites de Tolerância
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MUF	Melamina-uréia-formaldeído
MO	Microscópico Ótica
MEV	Microscópico Eletrônico de Varredura
MTb	Ministério do Trabalho
MIC	Ministério da Indústria e Comércio
MSA	<i>Mine Safety Appliances Company</i>
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NMAM	<i>NIOSH Manual of Analytical Methods</i>
NHO 03	Norma de Higiene Ocupacional n° 03
NR 9	Norma Regulamentadora n° 9
NR 15	Norma Regulamentadora n° 15
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
OSHC	<i>Occupational Safety and Health Review Commission</i>
PP	Papéis Envernizáveis
PNOC	<i>Particulates not Otherwise Regulated</i> (Particulado não Classificado de Outra Maneira)
PV 2121	<i>Partially Validated 2121</i>
PEL	<i>Permissible Exposure Limit</i>
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PT	Poeira Total
PR	Poeira Respirável
PVC	Policloreto de Vinila
REL	<i>Recommended Exposure Limit</i>
TLV	<i>Threshold Limit Value</i>
UB	Unidade de Brilho
UF	Uréia-formaldeído

UV

Ultra-violeta

UFPR

Universidade Federal do Paraná

UTFPR

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	30
1.1	OBJETIVO GERAL.....	32
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
1.3	JUSTIFICATIVAS	33
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
2.1	ERGONOMIA	34
2.2	CADEIA PRODUTIVA DA MADEIRA	37
2.2.1	Classificação da Indústria da Madeira.....	37
2.2.2	Indústria Brasileira de Painéis de Madeira Aglomerada	40
2.2.3	Indústria Moveleira Brasileira	44
2.2.3.1	Sistema produtivo da indústria moveleira.....	47
2.3	PAINEL AGLOMERADO	48
2.3.1	Características da Madeira Utilizada na Formação do Painel Aglomerado	51
2.3.2	Composição Química da Madeira de <i>Pinus spp.</i>	53
2.3.3	Adesivos Sintéticos Termoendurecedores ou Termofixos.....	55
2.3.3.1	Resina uréia-formaldeído (UF)	56
2.3.3.2	Melamina-uréia-formaldeído – MUF	57
2.3.3.3	Elementos químicos das resinas UF e MUF.....	58
2.3.4	Características do Material de Revestimento	62
2.3.4.1	Baixa pressão – BP	62
2.3.4.2	<i>Finish-foil</i> – FF.....	63
2.4	AERODISPERSÓIDES.....	64
2.4.1	Material Particulado Sólido	64
2.4.2	Classificação das Partículas de Poeira.....	65
2.4.3	Limites de Tolerância à Poeira	69
2.4.4	Limites de Tolerância à Poeira de Madeira	74
2.4.5	Métodos de Análise para Aerodispersóide Sólido	76
2.4.5.1	Amostragem de particulado sólido	76
2.4.5.2	Análise gravimétrica	77
2.4.5.3	Análise microscópica dimensional do particulado sólido	80
2.4.5.4	Determinação da quantidade sílica livre cristalina.....	86

2.4.5.5	Determinação da concentração de formaldeído	88
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	90
3.1	DESCRIÇÃO DO AMBIENTE.....	90
3.2	CARACTERÍSTICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS	92
3.3	PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	93
3.3.1	Determinação da Concentração de Partículas	93
3.3.2	Determinação do Tamanho da Partícula	102
3.3.3	Análise Química das Partículas.....	119
3.3.4	Análise Química do Material Amostrado.....	120
3.3.5	Métodos de análise.....	120
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	121
4.1	MASSA DO PARTICULADO SÓLIDO COLETADO SOBRE FILTRO DE MEMBRANA.....	121
4.2	PARTICULADO SÓLIDO COLETADO SOBRE A SUPERFÍCIE DE TRABALHO	124
4.3	QUANTIDADE DE PARTÍCULAS MEDIDAS	126
4.4	CONCENTRAÇÃO DO PARTICULADO SÓLIDO.....	128
4.5	CONCENTRAÇÃO DE SÍLICA LIVRE CRISTALINA NO MATERIAL AMOSTRADO	132
4.6	LIMITE DE TOLERÂNCIA ESPECÍFICO PARA O PARTICULADO SÓLIDO COLETADO	135
4.7	CONCENTRAÇÃO DE FORMALDEÍDO NO PARTICULADO SÓLIDO AMOSTRADO	141
4.8	DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NO PARTICULADO SÓLIDO COLETADO	143
4.9	HIGROSCOPICIDADE DO PARTICULADO SÓLIDO DO AGLOMERADO COLETADO SOBRE FILTRO DE MEMBRANA	149
4.10	ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DO PARTICULADO SÓLIDO COLETADO SOBRE O FILTRO DE MEMBRANA.....	156
4.10.1	Frequência em número do particulado sólido do aglomerado na categoria de poeira total (PT).....	156
4.10.2	Frequência em massa do particulado sólido do aglomerado na categoria de poeira total (PT).....	161

4.10.3	Comparação da frequência em número e em massa do particulado sólido do aglomerado <i>in natura</i> , BP e FF na categoria de poeira total (PT)	166
4.10.4	Frequência em número e frequência em massa do particulado sólido do aglomerado na categoria de poeira respirável (PR)	173
4.11	ANÁLISE ERGONÔMICA.....	182
5.	CONCLUSÕES	194
6.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	197
	REFERÊNCIAS	198
	APÊNDICE A.....	207
	APÊNDICE B.....	208
	APÊNDICE C.....	209
	ANEXO A.....	210

1. INTRODUÇÃO

Aerodispersóide sólido é definido como partícula formada a partir da ruptura mecânica de um material sólido seco, seja por corte, quebra, usinagem, fricção ou fundição; capaz de se manter suspenso no ar por tempo suficiente para que, com equipamentos específicos, possa ser efetuada a sua observação e medição. O tempo de suspensão depende diretamente do tamanho da partícula, do peso específico do material e da velocidade de movimentação do ar (NHO 03, 2001).

É consenso em estudos de segurança e higiene ocupacional, de ergonomia e medicina do trabalho, que o aerodispersóide sólido disperso no ambiente de trabalho pode gerar risco de doenças ocupacionais para o trabalhador exposto. O risco ocupacional está ligado às doenças do aparelho respiratório, pois o particulado sólido ao ser inalado pode ser eliminado ou absorvido pelas células de proteção do organismo, entretanto dependendo da sua composição química o particulado poderá provocar efeitos adversos à saúde humana.

Para minimizar o risco de doenças ocupacionais, é necessário que a composição do particulado sólido seja analisado, buscando determinar o seu limite de tolerância, concentração e tamanho de partículas, além do nível de toxicidade quanto aos elementos químicos existentes, principalmente no que se refere à sílica cristalina.

Segundo a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH, 1998), para a avaliação do risco à saúde do trabalhador, o particulado sólido deve ser analisado nas frações de poeira inalável, torácica e respirável, sendo que nesta última, o equipamento utilizado para efetuar a coleta das partículas, deve simular a respiração humana.

Um setor industrial onde o particulado sólido é produzido em grande quantidade, e o seu risco ocupacional é pouco estudado é o de base florestal, mais especificamente ao setor moveleiro, que utiliza mais de 90% dos painéis madeira aglomerada produzidos no Brasil, como matéria-prima para obtenção de peças de mobiliário. Ocorre que, quando o painel aglomerado é usinado, gera resíduos na forma de poeira sólida, que ficam dispersos no ar do ambiente de trabalho.

É importante ressaltar que, nos últimos anos a indústria de painéis de madeira, assim como a indústria moveleira de modo geral, tem alcançado destaque

na aplicação de novas tecnologias de produção, com a utilização de equipamentos mais modernos e automatizados, que estão originando produtos de maior qualidade estética e construtiva. Entretanto, para indicar a melhor solução ou seja controlar ou diminuir a emissão de aerodispersóide sólido no ambiente de trabalho, é necessário que o processo fabril seja observado, buscando entender o mecanismo de produção do resíduo, assim como os modos operacionais pertinentes ao processo produtivo.

Com relação ao particulado sólido, as empresas de grande porte do setor moveleiro possuem no *layout* fabril equipamentos de exaustão na fonte, para a coleta da poeira residual produzida durante o processamento da matéria-prima; todavia, uma pequena parte da poeira ainda fica dispersa no ar. Com relação as pequenas empresas, que não possuem recursos suficientes para a instalação de equipamentos de exaustão, a solução utilizada é acumular a poeira residual em um local específico dentro do *layout* fabril, e fazer sua retirada uma vez por semana ou a cada quinze dias.

Assim sendo, o foco deste trabalho é analisar o aerodispersóide sólido produzido a partir do processamento mecânico dos painéis de madeira aglomerada e o seu possível risco à saúde dos trabalhadores do setor de base florestal. Entretanto, é importante que a análise do processo produtivo seja realizada através de conceitos advindos da ergonomia organizacional, que não prescreve normas de conduta mas modos operativos mais eficazes, buscando a perfeita interação homem-sistema-máquina.

Através da análise ergonômica, tem-se uma visão sistêmica da atividade envolvida, considerando as variáveis tecnológicas, os fatores socioeconômicos e culturais e as necessidades dos trabalhadores. Cabe lembrar que a indústria moveleira, assim como o setor de base florestal de modo geral, se desenvolveu historicamente a partir da cultura familiar, na qual os ensinamentos são passados de geração para geração, e modificar este panorama é uma tarefa difícil, pois mexe em modos operativos profundamente arraigados.

Visando minimizar as influências das variáveis ambientais, para a realização deste trabalho foi realizado um estudo de caso em uma indústria produtora de painéis de madeira aglomerada. Nesta indústria existe um setor específico que refila painéis de madeira aglomerada em medidas especiais e a coleta de amostras ocorreu neste setor. Foram coletadas amostras do particulado sólido nas frações de poeira total (PT) e poeira respirável (PR), durante a atividade de trabalho, por meio

de equipamentos de amostragem específicos para cada coleta. O material particulado foi coletado sobre filtro de membrana de PVC e as técnicas de análise utilizadas foram gravimetria, microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura, espectrofotometria de energia dispersiva (EDS), espectrofotometria na região do infravermelho e cromatografia líquida de alto desempenho.

A determinação do risco ocupacional, gerado pelo contato com o particulado sólido do aglomerado suspenso no ar do ambiente de trabalho, foi realizada a partir da análise estatística dos dados obtidos, assim como através da comparação destes valores com os limites de tolerância estabelecidos por órgãos normatizadores reconhecidos internacionalmente.

1.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a poeira resultante do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada buscando demonstrar seu nível de toxicidade e propor medidas preventivas para minimizar o risco da exposição ocupacional que os trabalhadores podem estar sujeitos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer parâmetros técnicos sobre a espécie de madeira e o tipo de resina utilizada na formação de painéis de madeira aglomerada;
- Determinar a granulometria e composição química dos aerodispersóides produzidos através do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada;
- Determinar a concentração (C) e o Limite de Tolerância (LT) das partículas de poeira total e poeira respirável produzidas a partir do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada;
- Caracterizar o nível de toxicidade da poeira resultante do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada, quanto à quantidade de sílica livre cristalina e a emissão de formaldeído;

- Propor ações para minimizar o risco da exposição ocupacional sofrida pelos trabalhadores do setor, no que tange ao particulado sólido do aglomerado, segundo uma ótica ergonômica do processo.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2007) o setor de base florestal gera no Brasil uma receita anual de US\$ 37,3 bilhões, representando 3,4% do Produto Interno Bruto do País (PIB), além de representar 5,5% da exportação nacional.

De acordo com o quadro de Classificação Nacional de Atividades Econômicas-Fiscal (CNAE-Fiscal, IBGE, 2006), o setor de base florestal abrange duas classificações: no setor primário, como atividade de exploração florestal; e no setor secundário, na indústria de base e transformação.

Como atividade do setor de transformação, de acordo com a ABIMCI (2007), a indústria de madeira processada mecanicamente representa 1,0% do PIB nacional, emprega 2,1% da População Economicamente Ativa (PEA Nacional), é responsável por 2,3% da exportação de produtos industrializados e tem uma projeção de investimentos até 2014 na ordem de US\$ 5 bilhões.

Estes dados reforçam o entendimento que a indústria de madeira processada mecanicamente não se concentra só na geração de renda e empregos, mas também no desenvolvimento de novas tecnologias e avanços culturais que irradiam desenvolvimento sustentável em todas as regiões do País. Portanto, caracterizar o nível de toxicidade da poeira residual gerada pelo processamento mecânico de painéis de partícula de madeira aglomerada, irá agregar mais valor na certificação do material, tornando-se um tema de evidente relevância social, técnica e científica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ERGONOMIA

A palavra ergonomia é segundo Murrell apud Lida (2005) oriunda de um termo grego, onde *ergon* significa trabalho e *nomos* significa regras ou leis. Porém a definição da ergonomia como um ramo interdisciplinar da ciência foi elaborada no início 1950, na Inglaterra, após a fundação do *Ergonomics Research Society*; sendo definida como:

O estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, equipamento e ambiente, e particularmente a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos desse relacionamento (*ERGONOMICS RESEARCH SOCIETY*, 1959).

A finalidade da ergonomia é, para Guérin et al. (2001), transformar o trabalho de forma a contribuir para a concepção de situações nas quais os trabalhadores possam exercer suas competências de forma individual ou coletiva, sem causar alterações à saúde física e mental dos envolvidos no processo, e buscando alcançar os objetivos econômicos almejados pela instituição. Segundo Lida (2005, p. 2) “a ergonomia tem uma visão ampla, abrangendo atividades de planejamento e projeto, que ocorrem antes do trabalho ser realizado, e aqueles de controle e avaliação, que ocorrem durante e após esse trabalho”.

A análise ergonômica do trabalho agrega valor à empresa tanto no que tange aos trabalhadores assim como ao processo gerencial. Segundo Carballada (2001, p. 282), a organização do trabalho é “construída pelas pessoas e por suas atividades”; onde o trabalho de cada um se insere automaticamente ao processo, que elabora regras de interação e prescrição das tarefas.

Desta forma a atividade de trabalho (figura 1) engloba a tarefa prescrita, ou seja, descrição teórica da atividade, e a tarefa efetivamente realizada, na qual fatores organizacionais e ambientais interferem nos procedimentos e a partir dos quais surgem métodos de regulação, visando uma melhor realização da atividade.

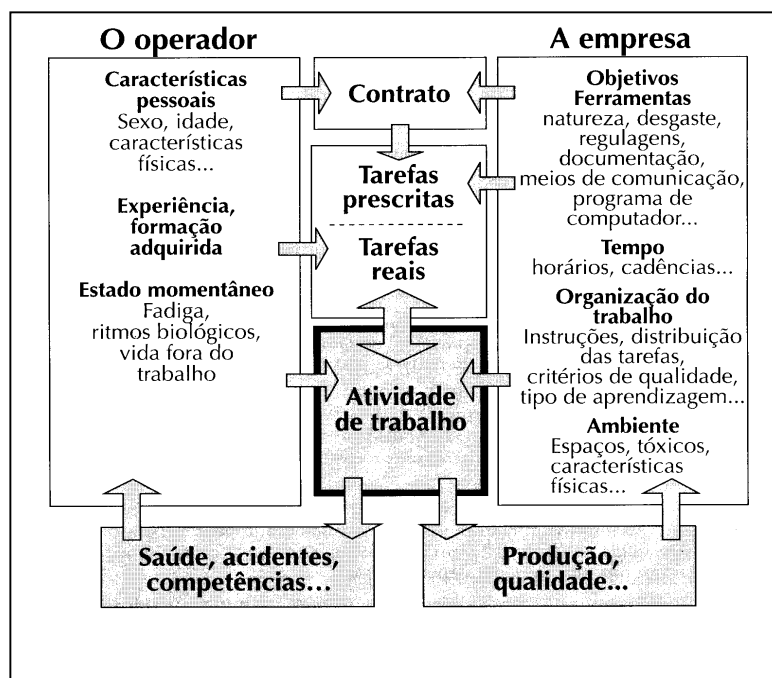


Figura 1: Determinantes ergonômicos dos procedimentos que englobam a atividade de trabalho

(Fonte: GÚERIN et al., 2001)

Para a ergonomia o sistema homem-máquina-ambiente é o que determina a organização do trabalho. Desta forma, segundo Fialho e Santos (1997), a situação de trabalho é um sistema complexo e dinâmico (figura 2), onde exigências sócio-técnicas e organizacionais determinam o comportamento do homem no trabalho e através do processamento de informações se obtém o resultado da atividade em termos de produção e qualidade de vida do trabalhador.

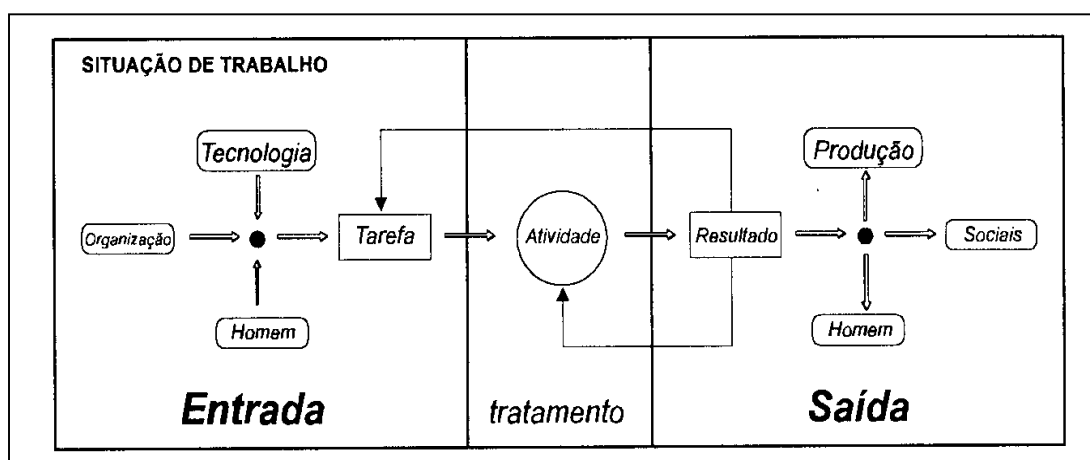


Figura 2: Modelo sistemático da situação de trabalho sob a ótica ergonômica
(Fonte: FIALHO e SANTOS, 1997)

Através da ótica ergonômica, o que determina o fluxo do processo produtivo é o arranjo físico ou *layout* da empresa, sendo que, através da melhora das condições de trabalho dos envolvidos no processo, pode-se aumentar a produtividade da empresa. De acordo com Couto (1995) o estudo para a determinação de um bom arranjo físico visa: evitar riscos de acidentes, incidentes e doenças ocupacionais; aumentar a motivação, a satisfação e a produtividade dos trabalhadores; melhorar a ocupação de espaços, as condições ambientais e a utilização dos equipamentos; reduzir gargalos, custos indiretos e o tempo de manufatura; reduzir a movimentação e o manuseio de materiais; melhorar a supervisão, a qualidade e a flexibilidade do processo.

Para Dejours (1992) na análise do ambiente de trabalho deve-se levar em conta: o ambiente físico onde se observam características como temperatura, ruído, vibração, irradiação, pressão e segurança no trabalho; o ambiente químico que engloba a emissão de vapores, gases, poeiras e fumaças; e o ambiente biológico onde se observa se ocorreram eventuais contaminações por vírus, fungos e bactérias.

Na análise do sistema produtivo nas organizações, deve-se também levar em conta as variações intra-individuais dos atores envolvidos no processo, que ocorrem a nível biológico, físico e cognitivo. Para Abrahão (2002, p. 52), “ao considerar-se a variabilidade, busca-se um equilíbrio entre as características dos sujeitos e o seu meio-ambiente de trabalho, visando obter os resultados esperados pela produção, dentro das melhores condições possíveis”.

Para a ergonomia, a melhoria das condições do ambiente de trabalho e a segurança do trabalho estão amplamente ligadas a qualidade de vida do trabalhador. Paladini apud Detoni e Merino (2002) destaca três razões para a busca da melhoria na qualidade de vida no trabalho:

- Preocupação com o ser humano;
- Aumento nos índices de produtividade;
- Consolidação de fatores motivacionais.

Para Santos et al. (1997, p. 130) “a contribuição da ergonomia não tem caráter prescritivo ou normativo quanto aos procedimentos utilizados pelos trabalhadores”, contribuindo apenas na indicação dos modos operativos mais favoráveis e visando melhorar a qualidade de vida do trabalhador. Desta forma

segundo Walton apud Detoni e Merino (2002, p. 4) a qualidade de vida no trabalho é para a ergonomia:

Resultante direta da combinação de diversas dimensões básicas do desempenho das atividades, e de outras dimensões não dependentes diretamente das tarefas, capazes de produzir motivação e satisfação em diferentes níveis, além de resultar em diversos tipos de atividades e condutas dos indivíduos da organização.

Desta forma, segundo estudos sistemáticos da tarefa efetivamente realizada nos postos de trabalho e em consonância com as metas empresariais, a ergonomia busca implementar melhorias nas condições de trabalho, contribuindo amplamente para o aumento na qualidade de vida do trabalhador e para a humanização do trabalho. Entretanto, para definição do método de pesquisa em ergonomia, primeiro são obtidos os dados por meio da observação e levantamento de hipóteses para posteriormente, em condições controladas, efetuar a mensuração dos fenômenos. Desta forma se estabelecem relações entre variáveis independentes, ou seja, variáveis que podem ser deliberadamente manipuladas visando determinar sua influência no desempenho do sistema; e variáveis dependentes que dependem do tipo de interação produzida no sistema e seu resultado final.

2.2 CADEIA PRODUTIVA DA MADEIRA

2.2.1 Classificação da Indústria da Madeira

“O setor florestal envolve florestas, bens e serviços florestais, indústrias de base florestal, unidades de conservação de uso direto e áreas privadas de produção, como os reflorestamentos comerciais, áreas de preservação permanente, reservas legais e áreas de manejo florestal” (IBGE, 2006).

Para Selmany apud Polzl (2002, p. 7):

A cadeia produtiva da madeira é caracterizada pelo conjunto de atividades que asseguram a produção, da colheita à transformação da madeira até o estágio quando esta última, por associação de seus derivados a outras matérias, perde a característica constituinte essencial do produto.

Segundo a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Madeira (ABPMEX, 2007), as exportações de produtos de madeira no primeiro semestre, tiveram um aumento de 7,8% em relação a 2006 e fecharam em US\$ 1.608,35 milhões, prospectando um mercado em franca expansão e com grande potencial para investimentos.

Na caracterização da indústria de base florestal, deve-se despender atenção a classificação estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística que possui cunho institucional e fiscal no contexto industrial brasileiro. Segundo o IBGE (2006), na classificação das atividades econômicas, a indústria de base florestal ocupa posição em dois setores distintos: no setor primário, seção A, ou seja, no segmento de extrativismo, silvicultura, manejo e exploração florestal; e no setor secundário, seção D, onde se encontram as indústrias de transformação da madeira (quadro 1), nos segmentos de fabricação de painéis de madeira e fabricação de artigos de mobiliário.

CNAE-FISCAL	
Seção - D / Indústrias de Transformação	
divisão/ grupo /classe /subclasse	denominação
20	Fabricação de Produtos de Madeira
201	Desdobramento de Madeira
2010-9	Desdobramento de madeira
2010-9/01	Serrarias com desdobramento de madeira
2010-9/02	Serrarias sem desdobramento de madeira
202	Fabricação de Produtos de Madeira, Cortiça e Material Trançado - Exceto Móveis
2021-4	Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada ou aglomerada
2021-4/00	Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada ou aglomerada
36	Fabricação de Móveis e Indústrias Diversas
361	Fabricação de Artigos do Mobiliário
3611-0	Fabricação de móveis com predominância de madeira
3611-0/01	Fabricação de móveis com predominância de madeira
3611-0/02	Serviços de montagem de móveis de madeira para consumidor final

Quadro 1: Classificação nacional de atividades econômicas da indústria de transformação da madeira (Fonte: Adaptado de IBGE,2006)

Entretanto, como o setor florestal está em grande expansão, tornou-se interessante que esta classificação fosse delineada a partir da demanda tecnológica da sua cadeia produtiva, cruzando informações da transformação e do processamento da madeira (SELMANY apud POLZL, 2002). Desta forma no segmento transversal encontram-se os processos sucessivos de transformação da madeira, desde seu estado bruto até sua transformação em produto final, englobando as atividades de: silvicultura, colheita florestal e primeira, segunda e terceira transformação chegando ao consumidor final (figura 3). E no segmento longitudinal tem-se a cadeia produtiva da madeira, a partir do tipo de utilização da madeira bruta.

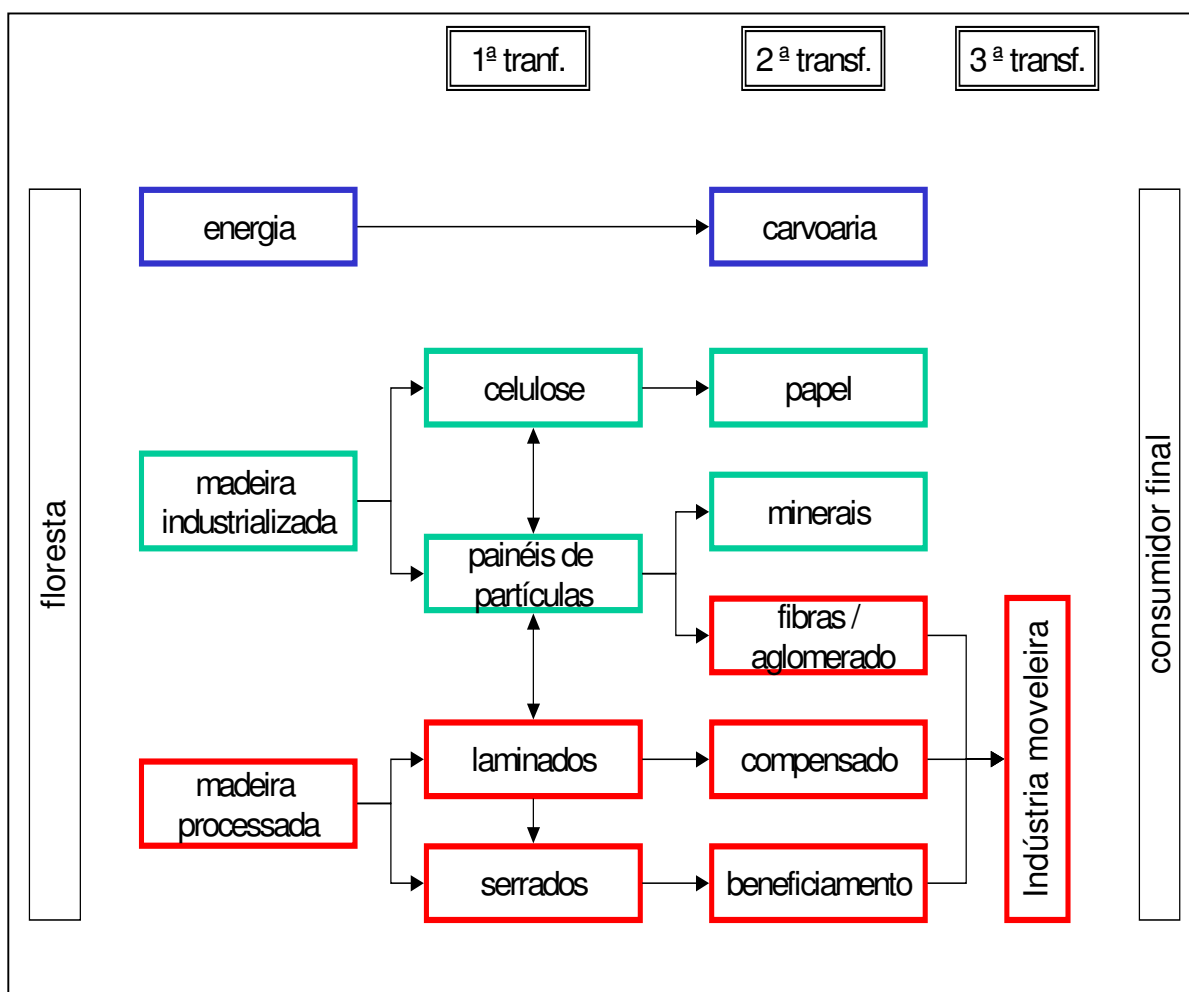


Figura 3: Fluxograma da cadeia produtiva da madeira a partir da demanda tecnológica do setor (Fonte: Adaptado de POLZL, 2002)

A partir desta classificação, pode-se perceber que a indústria de base florestal no Brasil possui promissoras perspectivas de expansão, pois a utilização de florestas plantadas garantem alta produtividade, sustentabilidade e menor custo da matéria-prima, sendo que o desenvolvimento tecnológico ocorrido nos últimos anos agregou valor e qualidade ao produto final.

2.2.2 Indústria Brasileira de Painéis de Madeira Aglomerada

A indústria de painéis de madeira tem alcançado altas taxas de crescimento nos últimos anos, principalmente no segmento de painéis particulados. Esta expansão do mercado se deve principalmente a escassez de madeira maciça e a evolução tecnológica do setor, que passou a produzir painéis de maior durabilidade e mais fácil usinagem, provocando uma suscetível melhora na percepção do consumidor com relação a qualidade deste tipo de painel.

Segundo Roque apud Haselein et al. (2004), no Brasil, onde são utilizadas madeiras de florestas plantadas, a qualidade do painel de madeira aglomerada é maior do que nos países que utilizam resíduos industriais, pois há um maior controle sobre o tamanho, espessura e características mecânicas das partículas de madeira.

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Painéis de Madeira (ABIPA, 2006), as florestas plantadas no Brasil encontram-se nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Mato Grosso, correspondendo 0,6% do solo brasileiro e são formadas por espécies de rápido crescimento como *Pinus spp.* e *Eucaliptus* (figura 4). Atualmente as empresas de painéis de madeira são responsáveis por 10% das florestas plantadas no Brasil.

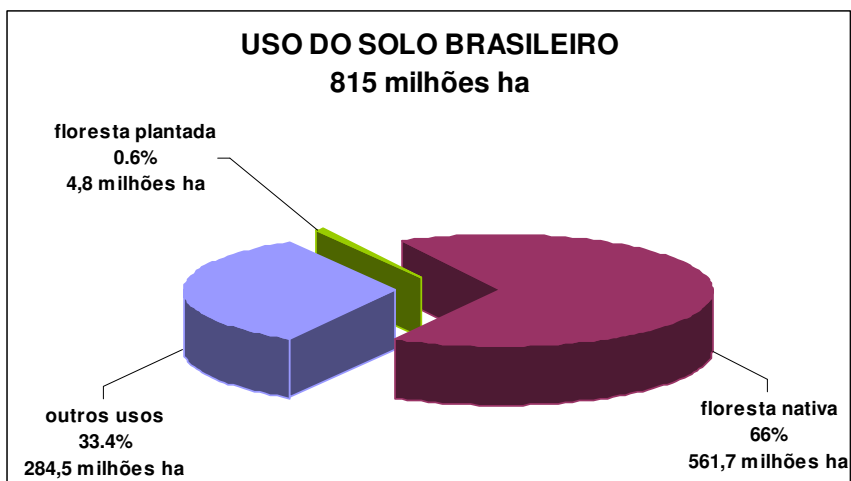


Figura 4: Divisão do solo brasileiro de acordo com o tipo de utilização
(Fonte: adaptado de ABIPA, 2006)

Na estimativa realizada em 2004, pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), no contexto do comércio mundial de painéis de madeira aglomerada os maiores importadores foram: Estados Unidos, China e Europa; sendo que a produção mundial de aglomerado estava em mais de 84 milhões de m³ ao ano.

Segundo a ABIPA (2006), a produção brasileira de painéis de madeira aglomerada (figura 5), teve nos últimos anos um crescimento acelerado alcançando no final de 2005 o patamar de 2,5 milhões m³, muito próximo da demanda interna que era de 2,42 milhões m³, o que ocasionou um decréscimo nas importações do material.

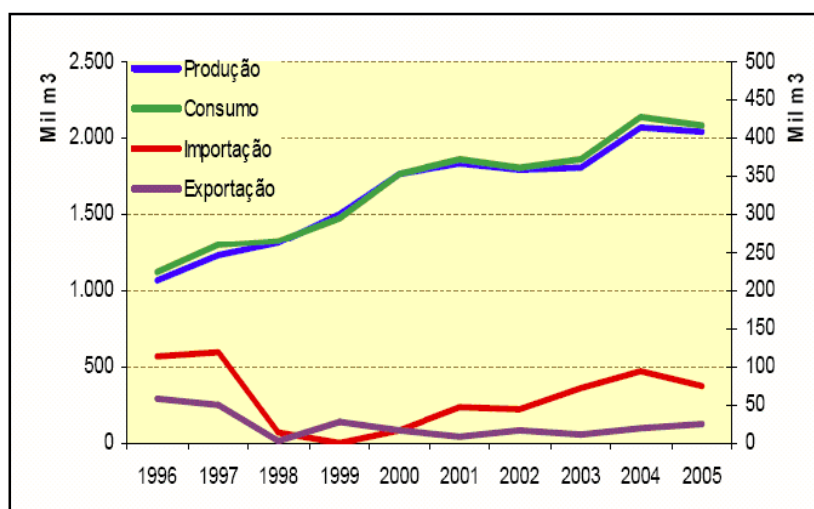


Figura 5: Produção brasileira de painéis de madeira aglomerada
(Fonte: ABIPA, 2006)

Da mesma forma, é importante ressaltar que o consumo de painéis de madeira aglomerada no Brasil foi seis vezes maior que o crescimento do PIB em dez anos, fato que indica um amplo desenvolvimento tecnológico, conseqüência de grandes investimentos feitos no setor (figura 6).

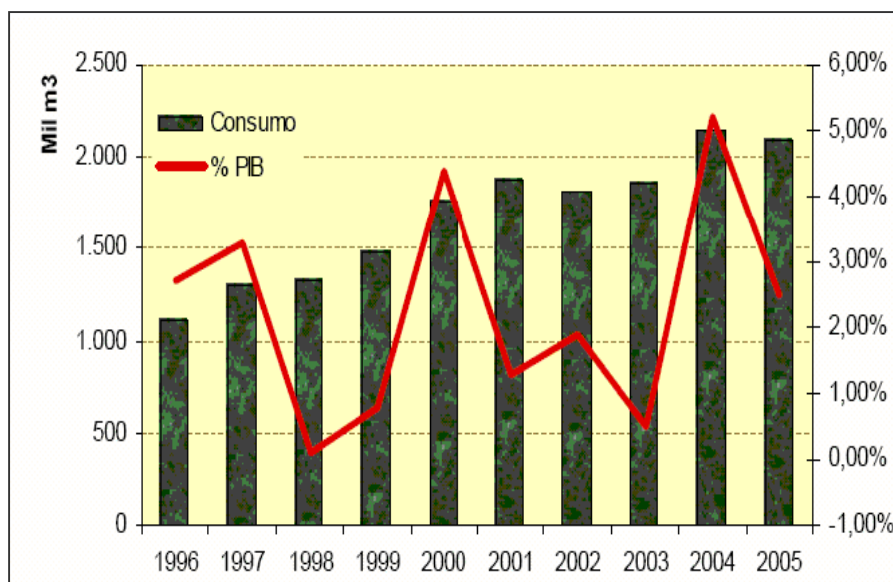


Figura 6: Crescimento do consumo de aglomerado comparado com o aumento do PIB em dez anos (Fonte: ABIPA, 2006)

O mercado produtor brasileiro de painéis de madeira aglomerada é formado por sete empresas, sendo que as cinco maiores abastecem aproximadamente 90% do mercado nacional. Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio (MDIC), no final de 2006 a produção ultrapassou 3,71 milhões de m³.

Por outro lado, o mercado de consumo dos painéis de madeira aglomerada no Brasil (figura 7) é segmentado em cinco setores. A maior parcela, 91% do material produzido, é consumido pela indústria moveleira. O restante dos painéis produzidos é direcionado para as lojas de revenda de artigos para mobiliário, que atendem pequenos fabricantes de móveis, para a indústria de construção civil, e para a indústria de fabricação de pisos de madeira. Apenas uma pequena parcela do material produzido, 1%, é destinado a outros setores industriais, para utilizações diversas.

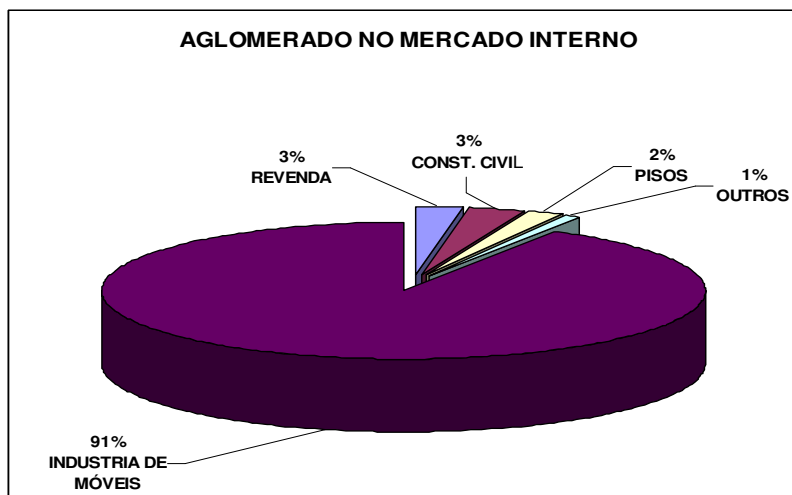


Figura 7: Estimativa do consumo brasileiro de painéis de madeira aglomerada
(Fonte: Adaptado de ABIPA, 2006)

Com relação ao processo produtivo, as empresas produtoras de painéis aglomerado desenvolveram grandes avanços técnicos nos últimos 20 anos, que foram sendo incorporados de forma sistemática ao processo, garantindo o aumento da produtividade e da flexibilidade operacional. Desta forma, a modernização da indústria, que passou a utilizar prensas contínuas na formação do painel, proporcionou redução de custo de produção em torno de 10 a 15%. O desenvolvimento tecnológico também trouxe a redução do consumo de matéria-prima e menor perda de material no lixamento, além da redução no número de empregados e no consumo de energia elétrica. Segundo dados da ABIPA em 2005 o setor estava trabalhando com 77% da sua capacidade produtiva, com prospecção de grande expansão em mercados futuros.

Estas observações referentes ao desenvolvimento operacional do setor de painéis de madeira aglomerada, são pertinentes às organizações voltadas para Gestão do Processo, que estabelecem sua estrutura organizacional em torno do fluxo de trabalho. Segundo Hammer e Champy apud Gonçalves (2000, p. 7), “um processo é um grupo de atividades realizadas numa seqüência lógica com o objetivo de produzir um bem ou um serviço e que tem valor para um grupo específico de clientes”.

Desse modo, a gestão do processo aplicada na indústria de painéis de madeira aglomerada engloba as tarefas a serem executadas, o número de operadores, a distribuição do trabalho, o método de trabalho, a tecnologia

empregada, os indicadores de eficiência, os resultados esperados e o *feedback* da tarefa realizada.

Segundo Cleland e Ireland (2002), a gestão do processo de forma sistemática promove amplos benefícios na organização, como o aumento da produtividade e ampliação da competitividade de mercado. Estes benefícios podem ser técnicos ou de produção, pois os produtos são estabelecidos a um preço ou custo acessível, com grande índice de valor agregado e dentro do padrão de qualidade pretendido, promovendo assim a ampla satisfação do cliente.

Assim sendo, dentro da estrutura de custos de produção de painel aglomerado, em torno de 45% são custos fixos entre: mão-de-obra e depreciação do maquinário e em torno de 55% são custos variáveis que dividem-se em produtos químicos (resina, parafina e emulsão), madeira e energia.

Segundo Arantes (1998, p. 20), “controlar a qualidade de um processo significa gerenciar os resultados (efeitos) deste processo, mantendo-os sob condições de estabilidade e melhorando-os continuamente, de forma sistêmica e competitiva”.

2.2.3 Indústria Moveleira Brasileira

A industrialização da madeira na forma de painéis de madeira reconstituída ampliou as possibilidades da aplicação de madeira em produtos comercializados, representando também um grande crescimento e avanço tecnológico para a indústria moveleira. Entretanto, outros fatores também contribuíram para este crescimento como: abertura da economia, ampliação do mercado interno e aumento das exportações.

Segundo o estudo intitulado “Panorama do Setor Moveleiro Brasileiro: de onde viemos e conjuntura atual” (2006), encomendado pela Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (ABIMÓVEL) ao Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI), o país produz 309 milhões de peças de mobiliário por ano, elaboradas por 14,4 mil indústrias instaladas em todo o território nacional. Ao todo, são 228 mil empregos formais e mais de R\$ 330 milhões investidos anualmente pelo

setor. Mas, apesar de ter faturado em torno de R\$ 20 bilhões em 2006, o setor ainda tem muito que desenvolver; o estudo demonstra que a produção brasileira é fragmentada, as grandes empresas respondem apenas por 30% da produção, a maior parte das empresas 64%, são de pequeno porte, com menos de 10 funcionários e com faturamento de até R\$ 120 mil ano. Ainda segundo a ABIMÓVEL (2006), a previsão de crescimento do setor é de 10 a 12% ao ano, em função das possibilidades existentes, tanto no mercado externo quanto no mercado interno, e pela inserção de novas tecnologias de fabricação.

Historicamente, no Brasil, a indústria moveleira teve sua origem a partir de uma estrutura artesanal, onde um mestre marceneiro com a ajuda de apenas um ou dois auxiliares, desenvolvia o projeto, desdobrava a madeira e fabricava todas as peças que iriam compor o móvel (NUNES, 2002). Por este motivo, a maior parte das empresas do setor moveleiro são de pequeno porte e encontram-se dispersas em todo o território nacional, sendo que absorvendo características culturais pertinentes a cada região, formaram estruturas organizacionais distintas, com volume de produção variado.

Pelo seu modelo estrutural a indústria moveleira pode ser analisada de acordo com o conceito da “Organização que Aprende” que, para Dibella e Nevis (1999, p. 6), “é aquela que possui a capacidade de adaptar-se às mudanças que ocorrem com seu ambiente e de reagir às lições trazidas pela experiência por meio de alteração do seu comportamento organizacional”.

Assim sendo, visando a modernização de seu processo de gestão a indústria moveleira passou a estruturar-se estrategicamente dentro do sistema *input-transformação-output* (figura 8). Sob esta ótica, tem-se como *input* a madeira como matéria-prima principal, o maquinário, o *layout* fabril e o pessoal especializado e como *output* o produto final acabado, a satisfação da necessidade do consumidor e a produtividade e lucratividade da empresa. E buscando atingir alta produtividade e grande competitividade no mercado, um grande número de empresas passou a investir em tecnologia de ponta, com máquinas automatizadas com comando CNC (*Computer Numeric Control*) e a utilizar como matéria-prima painéis de madeira reconstituída, principalmente o aglomerado e o MDF (*Medium Density Fiberboard*).

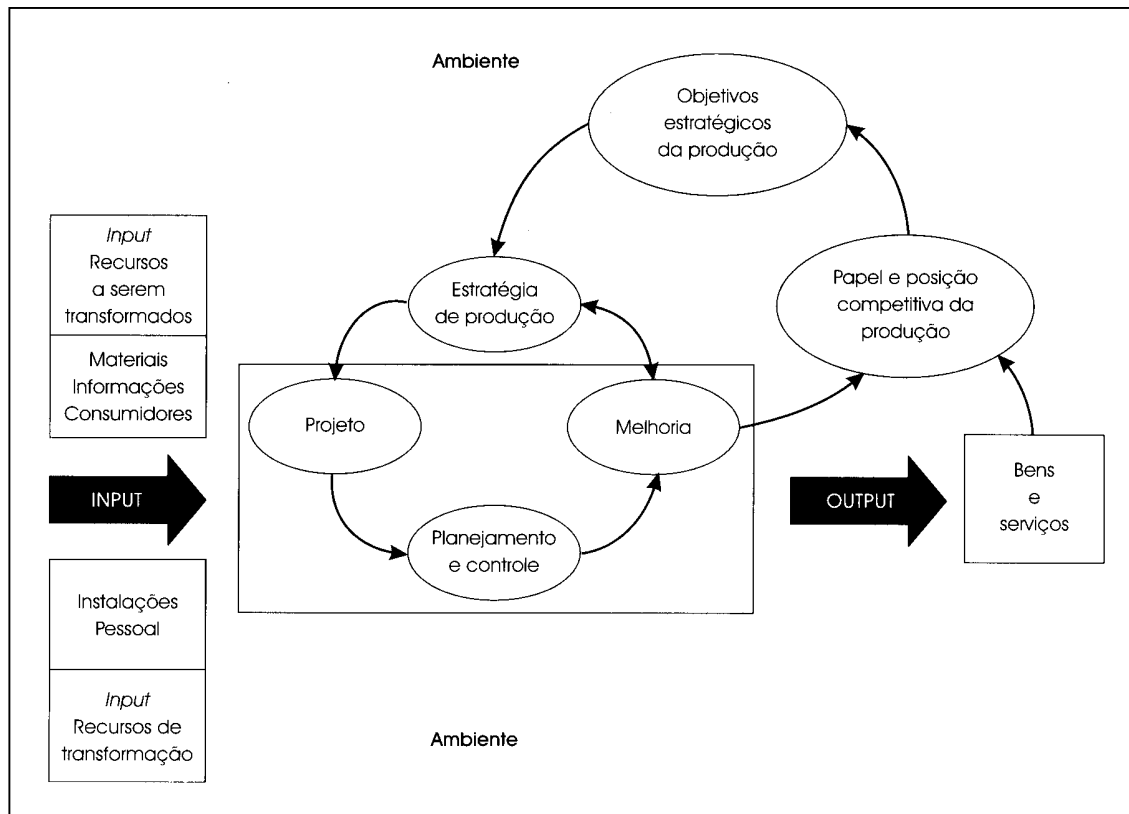


Figura 8: Modelo geral da administração da produção *input-transformação-output*
(Fonte: SLACK et al., 1997)

Desta forma, o setor moveleiro passou a abordar a gestão do processo de forma sistêmica, solucionando definitivamente os problemas, pois são encarados como resultados indesejados ou desvio do processo. Para Ishikawa (1993, p.43), “praticar um bom Controle de Qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade que é mais econômico, mais útil e sempre satisfatório para o consumo”.

Com efeito, o desenvolvimento da gestão do processo levou à evolução da cultura organizacional do setor e à mudanças corporativas que são pré-requisitos para o sucesso. Mas o desafio atual da indústria moveleira consiste em obter um maior diferencial competitivo, por meio de uma maior especialização e certificação do processo produtivo de alta qualidade, não só para as grandes empresas.

2.2.3.1 Sistema produtivo da indústria moveleira

Na transformação de painéis particulados, em produto final, a indústria moveleira se baseia no *layout* de acordo com o processo produtivo, no qual cada item do processo é considerado como um subsistema do sistema produtivo. Desta forma, o maquinário é disposto visando o fluxo das operações, de acordo com a finalidade de cada componente e adequando da melhor forma possível a área física disponível, mas sendo observada a distância necessária para a circulação dos operadores e para a movimentação dos painéis de madeira.

Para Eckes (2001, p. 33):

Uma empresa precisa identificar os processos essenciais e subprocessos-chave que constituem a sua organização. Um processo essencial é um conjunto de atividades ou etapas multifuncionais, que gera um impacto profundo no atingimento dos objetivos estratégicos do negócio, tanto direto como indiretamente. Os subprocessos-chave são aqueles que fazem parte de um processo essencial.

No *layout* fabril das empresas do setor moveleiro, a tecnologia dos equipamentos utilizados depende diretamente do porte da empresa, pois empresas de grande porte utilizam maquinário de última geração com comando CNC (*Computer Numeric Control*), permitindo assim maior produtividade, grau de especialização e qualidade no desenvolvimento do produto final; mas empresas de pequeno porte utilizam equipamentos mais antigos e muitas vezes com vida útil vencida. Existem equipamentos básicos necessários para a usinagem dos painéis de madeira, como serra circular, tupia, lixadeira e furadeira (quadro 2) que, dependendo da tecnologia do equipamento, podem possuir cabeçotes simples ou múltiplos.

Cabe ressaltar que, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que os fornecedores de equipamentos para a indústria de móveis de pequeno porte, com linha de produção não-integrada, são predominantemente nacionais, por outro lado, para as empresas de grande porte que utilizam linhas de produção integrada, os equipamentos são importados, principalmente da Itália e Alemanha (IPT, 2002).

MÁQUINAS MAIS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE MÓVEIS	
serra circular ou seccionadora	Equipamento composto de uma mesa com uma serra em formato circular, permitindo pouca regulagem na altura do corte. Possibilita a execução de um fio de corte reto e contínuo, sendo que a velocidade de avanço é constante. Por utilizar disco de serra, a espessura do fio de corte é maior e conseqüentemente perde-se maior quantidade de material na forma de poeira. A limitação do tamanho da peça a ser cortada é dada pelas dimensões da mesa de apoio.
tupia	Utilizada para fazer cortes com formatos especiais e usinagem na borda do painel. Promove um desgaste muito rápido na peça e conseqüentemente o material retirado transforma-se em poeira.
lixadeira	Utilizada para retirar as rebarbas do topo dos painéis cortados, através de uma lixa com gramatura variando entre 40 e 80. Por trabalhar a uma velocidade constante ocasiona um desgaste muito rápido e conseqüente formação de poeira.
furadeira	Equipamento utilizado para perfurar as peças através de uma broca de aço, a uma velocidade de rotação constante que desgasta o material que é desprendido na forma de poeira. Existe em três configurações deste tipo de maquinário vertical, horizontal ou múltipla que pode efetuar mais de um furo ao mesmo tempo.

Quadro 2: Maquinário mais utilizado na indústria moveleira
(Fonte: ABIMÓVEL, 2008)

No processamento mecânico de painéis de madeira reconstituída ocorre a geração de resíduos como poeiras, partículas e sobra de chapas que devem ser removidas e descartadas. As empresas de médio e grande porte utilizam sistemas de exaustão na fonte, ou seja, no instante do processamento no painel, que efetuam a aspiração e descarte da poeira residual. Entretanto empresas de pequeno porte acumulam o material em um local determinado dentro do *layout* da empresa e só efetuam a limpeza e o descarte deste material uma vez por semana ou a cada quinze dias.

2.3 PAINEL AGLOMERADO

Segundo Iwakiri (2005), painel de madeira aglomerada, comercialmente denominado de “aglomerado”, é um painel produzido com partículas de madeira tipo

sliver, reconstituído a partir de uma matriz randômica e consolidado através da aplicação de calor e pressão, com a incorporação de um adesivo sintético.

A indicação de uso deste tipo de painel na indústria moveleira é para peças planas e lisas como portas, tampos e laterais de móveis, com a utilização de elementos de fixação e ferragens específicas. As principais características dos painéis de madeira aglomerada são:

- Equalização das propriedades físico-mecânicas do material através do monitoramento do processo de fabricação;
- Valores uniformes do coeficiente de resistência e densidade em toda a extensão do painel;
- Matéria-prima homogênea, pois o processo retira os nós e imperfeições da madeira;
- Utilização de espécies de reflorestamento, *Pinus spp.* ou *Eucalyptus*;
- Tamanho da chapa limitada pelo processo produtivo ou tamanho do maquinário;
- Controle das alterações dimensionais do material (anisotropia do painel).

A característica principal do painel aglomerado é possuir comportamento elástico-mecânico igual ou maior que a madeira maciça, sendo que propriedades, como flexão estática e ligação interna, são afetadas com a variação dos elementos dimensionais das partículas. Outras variáveis pertinentes ao processo produtivo, como resina, aditivos químicos, umidade e ciclo de prensagem, devem ser controladas para garantir a qualidade da chapa (IWAKIRI, 2005).

Uma propriedade determinante na indicação de uso do painel de madeira aglomerada é a densidade, que depende diretamente do processo de prensagem e consolidação do colchão de partículas. Logo, quanto maior a altura do colchão de partículas, maior quantidade de material requerido e maior a densidade do painel. O nível de pressão a ser aplicado sobre o colchão de partículas pode variar de 12 a 40 kgf/cm² e é estabelecido de acordo com a densidade da madeira utilizada.

A razão de compactação é uma propriedade de grande importância na fabricação de painéis aglomerado, pois determina o grau de densificação e as propriedades físicas da chapa; sendo descrita como a relação entre a massa específica da chapa e a massa específica da madeira utilizada. A razão de compactação mais adequada para as chapas de aglomerado é de 1,3 a 1,6; sendo

que valores superiores a estes determinam maior resistência ao painel, mas por outro lado determinam maior inchamento na espessura em contato com ambientes úmidos.

Segundo Iwakiri (2005) outra propriedade de extrema relevância é a razão de esbeltez, que afeta as propriedades mecânicas dimensionais, o acabamento na superfície e bordas do painel, a aplicação de materiais de revestimento e a usinabilidade do painel. Desta forma a razão de esbeltez é definida como a relação entre o comprimento e a espessura das partículas. Esta propriedade determina a área de contato entre as partículas ou “Área Superficial Específica das Partículas” (ASE) e o consumo relativo de resina ou “Disponibilidade de Resina” por unidade de área das partículas (DR).

Para Albuquerque et al. (2005), o controle do ciclo de prensagem é decisivo para a indústria de aglomerados, pois o painel é um composto heterogêneo e o monitoramento das condições internas do colchão de partículas fornece subsídios para o controle do ciclo de prensagem, propiciando melhores produtos, maior produtividade e economia de energia.

Como no Brasil, na fabricação do painel aglomerado, utiliza-se apenas madeira proveniente de florestas plantadas, há um maior controle sobre o tamanho, espessura e características mecânicas das partículas de madeira. Desta forma o painel de madeira aglomerada geralmente é formado por três camadas de partículas, sendo que as partículas determinadas para as duas camadas externas (CE) são menores que as utilizadas na camada interna (CI), melhorando a densificação e o acabamento final do painel.

A classificação dos painéis de madeira aglomerada (quadro 3) é elaborada de acordo com a densidade, tipo e distribuição das partículas. Porém independente da densidade requerida, e da espécie de madeira utilizada na consolidação do painel de madeira aglomerada de uso geral, é utilizado a resina uréia-formaldeído (UF). Apenas em painéis de uso específico como naval ou de construção civil, é que outros tipos de resinas são utilizadas.

CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA		
segundo a densidade	segundo a distribuição das partículas	segundo o tipo de partícula
<ul style="list-style-type: none"> • baixa densidade até 0,59 g/cm³ • média densidade de 0,59 a 0,80 g/cm³ • alta densidade acima de 0,80 g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> • painéis homogêneos • painéis de múltiplas camadas • painéis de camadas graduadas • painéis de partículas orientadas 	<ul style="list-style-type: none"> • partícula “<i>sliver</i>”

Quadro 3: Classificação dos painéis de madeira aglomerada
(Fonte: Adaptado de IWAKIRI, 2005)

Para melhorar as propriedades físicas dos painéis de madeira aglomerada, podem ser adicionados na formulação da resina aditivos químicos como a emulsão de parafina, para reduzir a higroscopicidade do painel, e retardantes de fogo, tornando-o mais resistente a altas temperaturas. As espessuras dos painéis de madeira aglomerada variam entre 6 e 38 mm, dependendo do fabricante e do tipo de prensa utilizada. Comercialmente o aglomerado é encontrado *in natura* ou com dois tipos de revestimento, Baixa Pressão (BP) ou lâmina celulósica *Finish Foil* (FF).

2.3.1 Características da Madeira Utilizada na Formação do Painel Aglomerado

As espécies de coníferas são mais indicadas que as de folhosas para a produção de painéis de aglomerado, pois possuem baixa densidade. A maior parte do aglomerado produzido no Brasil é elaborada a partir de partículas de *Pinus spp.* proveniente de floretas plantadas, desta forma a qualidade do painel é relativamente maior do que em outros países. Resíduos provenientes de serrarias e de outros setores do processamento mecânico da madeira são utilizados na geração de partículas, entretanto em pequenas proporções e apenas por alguns fabricantes.

Segundo Lima apud Moraes et al. (2005) a madeira de *Pinus*, da família das *Pinaceae*, tem uma formação arbórea, tronco reto e copa em forma de cone com

uma altura total variando entre 3 e 50 metros. Sua madeira tem coloração que varia do amarelo claro ao alaranjado e massa específica variando entre 400 a 520 kg/m³, a 15% de umidade, dependendo da espécie.

Na elaboração de painéis de madeira aglomerada é necessário que as características organolépticas da madeira de *Pinus spp.* (quadro 4), sejam consideradas, pois a qualidade do painel depende da porosidade e permeabilidade e densidade da madeira que o compõe e das propriedades aderentes do adesivo utilizado, que tem de estar em consonância com o tipo de madeira.

PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS DAS MADEIRAS			
tipo	propriedades gerais	propriedades do <i>Pinus spp.</i>	
A n a t ô m i c a s	tamanho da árvore	diferenciações entre altura e diâmetro, de acordo com a idade da árvore;	espécie de floresta plantada de crescimento rápido, com aproveitamento de 55 a 65% das toras de madeira;
	anéis de crescimento	paredes delgadas das células da madeira do lenho inicial e as paredes espessas das células do lenho tardio;	efeito da propriedade contornado na transformação da tora em partículas;
	cerne e alburno	o cerne em relação ao alburno é menos permeável, possuindo maiores dificuldades na secagem e na absorção de produtos preservativos;	efeito da propriedade contornado na transformação da tora em partículas;
	idade da árvore	a quantidade de lenho juvenil (maior instabilidade dimensional) e adulto determinam diferenças na massa específica;	por se tratar de floresta plantada, as árvores são abatidas entre 7 e 12 anos;
	lenho de reação	crescimento excêntrico que provoca alta instabilidade dimensional na madeira e dificulta a trabalhabilidade;	efeito da propriedade contornado na transformação da tora em partículas;
	grã	orientação dos elementos verticais constituintes do lenho tomando como base o eixo da árvore; pode ser direita ou irregular;	efeito da propriedade contornado na transformação da tora em partículas;

PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS DAS MADEIRAS			
	porosidade	refere-se a permeabilidade da madeira e é inversamente proporcional a sua massa específica;	espécie de alta porosidade permitindo a fácil penetração do adesivo;
Físicas	massa específica	quantidade de material lenhoso por unidade de volume, varia de 0,13 a 1,4 g/cm ³ ; madeiras leves são mais porosas e facilitam a penetração do adesivo;	espécie de baixa densidade (0,4 g/cm ³) promovendo a densificação necessária ao painel;
	umidade	a variação do teor de umidade da madeira causa alterações em seu volume, em proporções diferentes, segundo os três sentidos anatômicos da madeira, o que a caracteriza como um material anisotrópico;	a umidade da madeira deve estar em torno de 12%, (quanto menor a umidade da madeira maior a absorção do adesivo);
Químicas	extrativos: taninos, corantes, essenciais, graxos, amidos, gomas. ceras, óleos	a concentração de extrativos na madeira retardam a taxa de evaporação da água e dificultam a adesão do material e aumentam a higroscopicidade e a ocorrência de bolhas e delaminação no painel;	nas espécies do gênero <i>pinus</i> os extrativos podem variar de 3 a 9%;
	pH	o pH da madeira pode influenciar na reação de cura química do adesivo, espécies de baixo pH podem levar a pré-cura da resina;	pH do <i>pinus spp.</i> está em torno de 4,5 a 5;

Quadro 4: Propriedades organolépticas das madeiras e da espécie *pinus spp.*
(Fonte: Adaptado de KOCH, 1972; BURGER, 1991; RIVER et al., 1991; MARRA, 1992; MORESCHI, 2004; e IWAKIRI, 2005)

2.3.2 Composição Química da Madeira de *Pinus spp.*

De modo geral, os principais componentes químicos elementares existentes na madeira, independente da espécie, são o Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N). Mas na sua característica estrutural a madeira pode ser classificada como heterogênea, pois seus componentes podem ser divididos em duas classes: os componentes estruturais de alto peso molecular, como a celulose, a hemicelulose e a lignina, que são encontrados principalmente na parede celular; e

componentes não-estruturais de menor peso molecular como os extrativos e os componentes inorgânicos (KOCH, 1972).

Segundo Philpp e D'Almeida apud Morais et al. (2005) a variação da porcentagem das macromoléculas estruturais encontradas no *Pinus spp.*, (quadro 5) varia de acordo com as diferentes espécies e provavelmente de árvore para árvore.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO <i>PINUS SPP.</i> SECO				
componente	porcentagem			
polissacarídeos	65 a 71%	celulose	glucose	41 a 46%
		hemicelulose	glucose	1 a 5%
			manose	8 a 15%
			xylose	7%
			arabinose	0,5 a 2%
			galactose	1 a 2,5%
lignina	27 a 30%			
extrativos	3 a 9%			
componentes inorgânicos	até 0,5%			

Quadro 5: Componente macrocelulares da madeira de *Pinus spp.*
(Fonte: Adaptado de KOCH, 1972)

De modo mais detalhado, a celulose e a hemicelulose são polissacarídeos complexos e juntos formam a holocelulose. A hemicelulose representa uma classe de componentes poliméricos, de baixa massa molecular, associado à celulose nos tecidos dos vegetais fibrosos. A celulose por sua vez é o componente polimérico linear de alto peso molecular presente em maior quantidade nas madeiras mais especificamente na forma de microfibrilas. A lignina é composta de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), é considerada como um polímero aromático heterogêneo de característica hidrofóbica composta de unidade de fenilpropano, que forma o tecido de sustentação dos vegetais. Os extrativos são ceras, graxas, resinas, taninos e pigmentos, mas como são componentes secundários da classe dos terpenos e não fazem parte da estrutura celular da madeira, apenas determinam propriedades tais como cor, odor, gosto; são solúveis em solvente orgânico neutro ou água. Os componentes inorgânicos são minerais como o cálcio (Ca), o potássio (K), o magnésio (Mg), o sódio (Na) e a sílica (Si) que não fazem parte da estrutura celular da madeira e variam de uma espécie para outra dependendo da região onde

creceu a árvore (KOCH, 1972; BARRICHELO, 1980; FENGEL e WEGENER, 1989; HON e SHIRAIISHI, 2000; KLOCK, 2004 e MORAIS et al., 2005).

2.3.3 Adesivos Sintéticos Termoendurecedores ou Termofixos

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) através da norma D907-06 (2007), define adesivo como a substância capaz de unir materiais através de uma superfície de contato, sendo que a adesão ocorre quando o adesivo líquido penetra nos poros estruturais do material e se unem através do processo de solidificação. Assim sendo, resina ou adesivo é a substância química de origem sintética, a base de polímero, com propriedade de unir materiais iguais ou diferentes, dando resistência e qualificando o produto colado (RIVER et al., 1991; MARRA, 1992; IWAKIRI, 2005).

Através do uso de adesivos sintéticos é possível obter painéis de madeira de grandes dimensões. Entretanto, é necessário que a umidade das partículas de madeira utilizada seja controlada entre 10 e 12%, pois por ser um material higroscópico a madeira tende a absorver a umidade do ar.

O processo de formação dos painéis de madeira ocorre a partir da adesão das superfícies a serem coladas. Para o setor de base florestal, adesão é um fenômeno físico-químico que promove mecanismos de interação entre o substrato, ou seja, superfícies sólidas ou partículas individuais e o material líquido com propriedades aderentes. Segundo Marra (1992), após o contato com o substrato, ocorre o processo de adsorção do adesivo, através de ações e movimentos de adesão, são eles:

- Fluidez: espalhamento do adesivo sobre o substrato;
- Transferência: movimentação do adesivo para a superfície oposta;
- Penetração: infiltração do adesivo nos poros da madeira;
- Umedecimento: movimento de recobrir a estrutura da madeira;
- Solidificação: processo químico de mudança do estado líquido para o sólido.

A avaliação da qualidade do adesivo deve ser realizada em três momentos: na fabricação, na aplicação e no produto final colado, sendo que a penetração do adesivo afeta levemente a estrutura intracelular da madeira (RIVER et al., 1991). Existem algumas variáveis que devem ser controladas na utilização de adesivos (MARRA, 1992 e IWAKIRI, 2005):

- viscosidade: característica de fluidez do líquido e pode ser observada pelo seu escoamento na superfície de contato. Quanto maior a viscosidade pior é o espalhamento do adesivo e menor a penetração e a umectação do substrato;
- tempo de gelatinização (*gel time*): tempo decorrido desde a preparação do adesivo até o seu endurecimento. Por esta razão os testes de aplicação devem ser realizados a uma temperatura padrão para que não haja alteração nas suas propriedades químicas;
- teor de substâncias sólidas: são as substâncias que após a solidificação do adesivo com a evaporação das substâncias voláteis formarão a linha de cola;
- pH: é importante que o pH do adesivo e do substrato sejam compatíveis quimicamente pois caso contrário pode degradar as fibras da madeira ou formar excesso de espuma na mistura;
- extensores: substâncias a base de amido ou parafina que são adicionadas na composição do adesivo visando reduzir custos, regular a viscosidade do adesivo para melhorar seu espalhamento, absorção e aumentar o seu tempo de solidificação.

2.3.3.1 Resina uréia-formaldeído (UF)

Normatizada pela ASTM D4690-99 (2005), a resina UF é a mais utilizada na fabricação de painéis de madeira aglomerada para uso interno. Sua denominação é polímero termofixo de uréia-formaldeído em solução aquosa. É um adesivo de fácil manuseio, solúvel em água, com boa resistência a água, cura rápida e incolor que não agrega alto custo ao produto final. Sua proporção de utilização é em torno de 6

a 12% da massa seca de partículas e pode atuar em diferentes temperaturas de prensagem, de 90 a 120°C, dependendo do tipo do painel a ser fabricado e da prensa a ser utilizada.

A cura do adesivo se processa pela redução do pH, que dependendo da formulação varia de 7 a 8 e pela adição de um catalisador sólido que pode ser cloreto de amônio (NH_4Cl) ou sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]. Um fator importante na formulação deste tipo de resina é a proporção molar entre formaldeído e uréia (F/U), que é normatizada entre 1,2:1 a 2,0:1, devido a problemas de emissão de formaldeído, gerada pela hidrólise da resina.

Possui coloração branca leitosa e conteúdo de sólidos na ordem de 60 a 70%, mas pode ser encontrada também na forma de pó. A polimerização acontece em dois estágios principais: primeiro, com o auxílio de um catalisador alcalino (formação methylol-uréias) e depois de um catalisador ácido (formação metileno-uréia). A reação de polimerização é controlada através da viscosidade, na faixa de 400 a 1000cp, a 25°C, e é interrompida pela alcalinização da resina quando o nível de viscosidade requerido é atingido (PIZZI, 1983; MARRA, 1992 e IWAKIRI, 2005).

Com uma pequena alteração na formulação química, modificando principalmente as características viscosidade e *gel time* do produto, este tipo de resina é utilizada tanto na formação do painel aglomerado, como na aplicação de revestimentos *finish foil* (FF) em painéis aglomerado através dos sistemas convencionais de laminação à quente, individual ou contínua.

2.3.3.2 Melamina-uréia-formaldeído – MUF

O adesivo a base de melamina [$\text{C}_3\text{N}_6\text{N}_6$], possui um custo mais elevado de produção, por este motivo é pouco utilizado na sua forma pura e sim como mistura no adesivo UF (40:60 – melamina/uréia-formaldeído). É classificada como resina de uso intermediário, pois apresenta boa resistência. A temperatura de cura gira em torno de 65 a 130°C e seu pH está na faixa de 9.

Seu processo de reação química ocorre de forma similar a resina UF, entretanto a reação do formaldeído com a melamina, ocorre antes da reação com a

uréia, formando de forma mais acelerada o methylol, desta maneira necessita de uma menor quantidade de catalisador que a resina uréia-formaldeído (PIZZI, 1983; MARRA, 1992 e IWAKIRI, 2005). Este tipo de resina é utilizada na aplicação de revestimentos baixa pressão (BP) ou papel melamínico em painéis aglomerado.

2.3.3.3 Elementos químicos das resinas UF e MUF

Os elementos químicos que compõe as resinas utilizadas na formação de painel aglomerado, são principalmente: uréia, formaldeído, e melamina além dos catalisadores sólidos para prensagem a quente, que podem ser cloreto de amônio (NH_4Cl) ou sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]. É importante ressaltar que a concentração de formaldeído na resina UF varia em torno de 0,4 a 0,5% dependendo da formulação.

a) Uréia

É produzida a partir da reação do dióxido de carbono e amônia, e tem sua fórmula molecular descrita como $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Através de suas propriedades físico-químicas (quadro 6), a uréia é considerada como um produto não perigoso; ou seja, substância que por inalação, ingestão ou penetração cutânea, não implica em riscos graves, conforme Diretiva 2006/121 do Conselho da Comunidade Econômica Européia (CEE).

PROPRIEDADES DA URÉIA	
fórmula molecular	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ou $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$
forma de apresentação	sólido
cor	branco
odor	ligeiramente de amônia
peso molecular	60,06
pH	≈ 9 em 100g/l de H_2O
ponto de fusão	133 °C
densidade a 20 °C	1,34 g/cm ³
solubilidade em água a 20 °C	≈ 100 g/l

Quadro 6: Propriedades físico-químicas da uréia
(Fonte: Ficha de segurança de produto químico / NBR 14725, 2002)

b) Formaldeído

É considerado um elemento altamente tóxico segundo a Diretiva 67/548/CEE. O formaldeído é definido como substância ou preparado que, por inalação, ingestão ou penetração cutânea, podem implicar riscos graves, agudos ou crônicos e até mesmo a morte. No quadro 7, tem-se as relações entre concentração de formaldeído e os sintomas apresentados no ser humano determinado pelo Instituto Nacional de Câncer (INCA, 2008), que caracteriza o formol como uma substância tóxica quando ingerida, inalada ou quando entra em contato com a pele por via venosa, intraperitoneal ou subcutânea.

CONCENTRAÇÃO DE FORMALDEÍDO E SINTOMAS NO SER HUMANO		
concentração (ppm)	concentração (mg/m³)	sintomas
0,1 a 0,3	0,123 a 0,369	nível limiar de irritação
0,3 a 0,8	0,369 a 0,984	nível limiar para o odor
1 a 2	1,23 a 2,46	causa irritação leve dos olhos, nariz e garganta
2 a 3	2,46 a 3,69	irritação média dos olhos, nariz e garganta
4 a 5	4,92 a 6,15	irritação forte dos olhos, nariz e garganta
10 a 20	12,30 a 24,6	lacrimação abundante, sensação de queimação, tosse, sendo o limite de tolerância de 15 minutos
50 a 100	61,50 a 123	causa danos severos ao sistema respiratório em 5 a 10 minutos

Quadro 7: Concentração de formaldeído e sintomas no ser humano
(Fonte: INCA, 2008)

O formaldeído através de suas propriedades físico-químicas (quadro 8) é um produto considerado cancerígeno por diversas instituições internacionais, tais como a *International Agency for Research on Cancer (IARC)*, a *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*, o *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* e o *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*. Os trabalhadores podem sofrer a exposição tóxica do formaldeído durante a produção direta do produto, tratamento e processamento de materiais e produção de resinas.

PROPRIEDADES DO FORMALDEÍDO		
fórmula molecular	CH ₂ O ou HCHO	
sinônimos	metanal, formol, óxido de metileno	
forma de apresentação	solução líquida incolor ou gás com odor forte	
cor	esbranquiçada	
peso molecular	30,03	
ponto de ebulição	96 °C	
pH	8,5	
densidade a 25 °C	1,22 a 1,30 g/cm ³	
limites de tolerância	OSHA	LT = 0,75 ppm
		LT máx = 2 ppm (por 15 minutos)
		Nível de ação = 0,5 ppm
	ACGIH	LT = 0,3 ppm – A2 suspeito de cancerígeno em humanos
		LT máx = 1,6 ppm (por 15 minutos)
	NIOSH	LT = 0,016 ppm
LT máx = 0,1 ppm (por 15 minutos) – cancerígeno potencial		

Quadro 8: Propriedades físico-químicas do formaldeído
(Fonte: Adaptado de INCA, 2008; OSHA, 2005; e NIOSH, 2005)

c) Melamina:

Tem sua fórmula molecular descrita como C₃N₆N₆, sendo considerada através de suas propriedades físico-químicas (quadro 9) como um produto que não oferece perigo, incombustível e resistente à água.

PROPRIEDADES DA MELAMINA	
fórmula molecular	C ₃ N ₆ N ₆
forma de apresentação	crístais
cor	branca
peso molecular	126,12
pH	7,5 a 7,9
ponto de fusão	354 °C
densidade a 20 °C	1,573 g/cm ³
solubilidade em água a 20 °C	3 g/l
limite de exposição	10 mg/m ³ fração inalável 5 mg/m ³ fração respirável

Quadro 9: Propriedades físico-químicas da melamina
(Fonte: Ficha de segurança de produto químico / NBR 14725, 2002)

d) Cloreto de amônio

A fórmula molecular do cloreto de amônio é descrita como NH_4Cl . É considerado, por suas propriedades físico-químicas (quadro 10), como um produto que não oferece perigo quando solúvel em água, pois produz um ácido fraco; mas ao ser aquecido produz fumaça tóxica e irritante de óxidos de nitrogênio, amoníaco e cloreto de hidrogênio

PROPRIEDADES DO CLORETO DE AMÔNIO	
fórmula molecular	NH_4Cl
sinônimos	Sal amoníaco, amônio muriático
forma de apresentação	pó inodoro
cor	branco
peso molecular	53,49
pH	5,0 a 5,5
densidade	1,527 g/cm ³
ponto de fusão	338 °C
solubilidade em água a 0 °C	29,7 g/100 g

Quadro 10: Propriedades físico-químicas do cloreto de amônio
(Fonte: Ficha de segurança de produto químico / NBR 14725, 2002)

e) Sulfato de amônio

Sua fórmula química é $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. É solúvel em água e insolúvel em etanol e de acordo com suas propriedades físico-químicas (quadro 11) não sendo considerada uma substância perigosa. O sulfato de amônio ocorre naturalmente como mineral denominado mascagnita. Decompõe-se por aquecimento libertando amônia e eventualmente água, dióxido de enxofre e amoníaco.

PROPRIEDADES DO SULFATO DE AMÔNIO	
fórmula molecular	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
sinônimo	sal diamônico do ácido sulfúrico
forma de apresentação	Cristal inodoro
cor	branco
peso molecular	132,16
pH	5,5
densidade	1,67 g/cm ³
ponto de fusão	235 °C
solubilidade em água a 25 °C	43 g/100 g
limite de tolerância	LT = 3 mg/m ³

Quadro 11: Propriedades físico-químicas do sulfato de amônio
(Fonte: Ficha de segurança de produto químico / NBR 14725, 2002)

2.3.4 Características do Material de Revestimento

Os materiais de revestimento mais utilizados em painéis de madeira aglomerada, são lâminas celulósicas com estampas decorativas, fixadas por meio de calor e pressão com adesivos sintéticos termoendurecedores ou termofixos na superfície do painel.

2.3.4.1 Baixa pressão – BP

Papel decorativo com gramatura entre 70 e 180 g/m², impregnado com resina sintética melamina-uréia-formaldeído. Após banhos sucessivos com a resina e posterior secagem em estufa, para climatização, o papel melamínico está pronto para ser colado na superfície superior e inferior do painel particulado. O processo de colagem ocorre a partir da polimerização e impregnação da resina, sob o efeito de calor e pressão.

O revestimento BP ou melamina como é conhecido comercialmente, pode ter variações no seu acabamento superficial desde a imitação dos veios da madeira até acabamento fosco ou alto-brilho. Esta diversidade pode ser obtida pela utilização de chapas metálicas com texturas, fixadas nos pratos da prensa, no processo da colagem do papel.

A maior parte dos painéis de madeira reconstituída com revestimento BP pode ser utilizada na indústria moveleira diretamente na fabricação do produto final, pois não necessita de acabamento posterior; mas existe uma variação deste tipo de revestimento denominado de papéis envernizáveis (PP) que reproduzem fielmente os veios e a textura da madeira. O processo de fabricação do painel de madeira reconstituída com revestimento PP ocorre da mesma forma que o BP, por meio da polimerização da resina impregnada no papel de revestimento, sob o efeito de calor e pressão. Entretanto este tipo de papel necessita que seja efetuado um acabamento superficial em verniz ultra violeta (UV), promovendo assim uma aparência muito próxima à da madeira natural.

2.3.4.2 *Finish-foil* – FF

O revestimento FF é produzido a partir de bobinas de papel de 30 ou 60 g/m², impressas pelo processo de rotogravura ou flexografia em tom único ou estampas madeiradas. Sobre a estampa, o papel de revestimento *finish-foil* recebe verniz superficial com acabamento acrílico-melamínico ou cura UV.

A colagem do revestimento FF sobre o painel aglomerado ocorre através de um sistema de calandras ou prensas aquecidas sobre o painel onde já foi aplicada a resina uréia-formaldeído. Dependendo da indicação de uso do painel é necessária uma nova aplicação de verniz superficial UV, buscando atingir o fator de 90 UB (Unidade de Brilho), pois o aquecimento do processo de colagem do revestimento no painel, em torno de 130°C, retira parte do brilho inicial.

2.4 AERODISPERSÓIDES

O efeito nocivo dos aerodispersóides sobre a saúde do trabalhador está intimamente ligado ao desenvolvimento tecnológico da humanidade. Os primeiros estudos científicos datam do início do século V a.C., nas anotações de Hipócrates, mas ao longo da história vários pesquisadores, tais como: Plínio, Galeno, Platão, Marcial, Paracelsus, Van Diemerbroeck e Ramazzinni, descrevem de alguma forma o efeito dos aerodispersóides sobre o ser humano.

O interesse principal no estudo e caracterização dos diversos tipos de aerodispersóides está ligado ao desenvolvimento de doenças do trato respiratório, pois dependendo da sua toxicidade podem causar efeitos adversos à saúde do trabalhador.

A Norma de Higiene Ocupacional 03, (NHO-03, 2001), desenvolvida pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO), define aerodispersóide como a reunião de partículas sólidas e/ou líquidas, menores que 100 μm , suspensas em um meio gasoso por tempo suficiente para permitir sua observação ou medição. Desta forma são classificados de acordo com a sua formação:

- névoas e neblinas: particulados produzidos pela condensação ou ruptura de partículas líquidas à temperatura ambiente;
- fumos: particulados resultante de reação química e condensação de vapores de substâncias sólidas à temperatura ambiente;
- fibras: particulados sólido de formato alongado – comprimento 3 a 5 vezes maior que o diâmetro - resultante da ruptura mecânica de substâncias sólidas;
- poeira: particulado sólido de tamanho variado resultante da ruptura mecânica de sólidos.

2.4.1 Material Particulado Sólido

O termo partícula, segundo o Novo Dicionário Aurélio (2004), significa “parte muito pequena ou corpúsculo” e pode ser de composição química simples ou

composta dependendo do material formador. Desta maneira as partículas de poeira podem ser definidas como:

- Minerais: originárias de asbesto, areia, argila, fibrocimento, compostos metálicos, entre outros;
- Animais: originárias de lã, peles, penas e escamas;
- Vegetais: originárias de madeira, grãos, algodão, linho, entre outros.

Segundo a norma NHO-03 (2001), “poeira é toda partícula sólida de qualquer tamanho, natureza e origem, formada por ruptura mecânica de um material original sólido, suspensa ou capaz de se manter suspensa no ar”. O tempo de suspensão depende do tamanho da partícula de poeira, do peso específico do material e da velocidade de movimentação do ar. Desta forma, as partículas de poeira podem ser classificadas de acordo com o seu tamanho, sendo as mais perigosas para o ser humano as classificadas como respiráveis.

As partículas sólidas se caracterizam pelo seu tamanho, forma e densidade. As partículas de sólidos homogêneos possuem a mesma densidade que o material original (MCCABE,1993). Quando as partículas sólidas são iguais e se apresentam de forma isolada, a determinação de seu número, volume e superfície externa é bastante simples, pois seu tamanho poderá ser definido pela dimensão livre de maior importância, como o diâmetro, no caso de partícula esférica (GOMIDE,1980). Quando as partículas se encontram aglomeradas sobre um filtro de membrana, pode-se medir diretamente as partículas e efetuar um levantamento estatístico. Se as partículas são pequenas coloca-se uma amostra do material na lâmina de um microscópio e cada partícula é medida dentro do campo microscópico (FOUST, 1982).

2.4.2 Classificação das Partículas de Poeira

Segundo a ACGIH (1998) as partículas de poeira são classificadas de acordo com o seu tamanho aproximado, sendo que o estudo da concentração existente e do seu comportamento aerodinâmico, é feito pela quantificação das partículas existentes em cada faixa de tamanho.

A quantidade de poeira dispersa no ar do ambiente de trabalho depende da movimentação do ar ao redor da fonte formadora, sendo que o transporte e o manuseio de qualquer material na forma de pó também é considerado como uma fonte geradora de poeira. Por outro lado a deposição da poeira, seja pelo efeito da gravidade, inércia ou captação eletrostática, assim como o seu local de deposição no organismo humano durante a inalação do ar contaminado, dependem diretamente do tamanho e da higroscopicidade da partícula em questão.

Desta forma tem-se poeiras visíveis com diâmetro maior que 40 μm ; poeiras inaláveis que podem vir a se depositar em qualquer lugar do aparelho respiratório e possuem diâmetro menor que 100 μm ; e partículas respiráveis que possuem diâmetro menor que 10 μm e são as mais prejudiciais ao ser humano (quadro 12). Segundo Santos (2005) partículas de poeira com tamanho menor que 1 μm possuem baixo índice de sedimentação através da gravidade, pois possuem pequeno valor de massa e são carregadas pelas moléculas do ar e complementa que a máxima deposição alveolar ocorre com partículas de 2 μm e apenas 10 a 15% das partículas de 0,5 μm de diâmetro chegam a se depositar.

CLASSIFICAÇÃO DA POEIRA SÓLIDA	
tipo de particulado	tamanho aproximado (μm)
sedimentável	100 < \varnothing < 150
Inalável	\varnothing < 100
torácica	\varnothing < 25
respirável	\varnothing < 10
visível	\varnothing > 40

Quadro 12: Classificação da poeira sólida quanto ao tamanho da partícula
(Fonte: Adaptado de SANTOS, 2001 e SALIBA, 2002)

O sistema respiratório humano é constituído por vários órgãos que conduzem o ar inalado para dentro e para fora das cavidades pulmonares, e por meio de mecanismos de filtragem promovem a proteção do organismo contra agentes externos (quadro 13). Desta forma, partículas maiores são capturadas pelas

fossas nasais e vias aéreas superiores e são eliminadas através da limpeza mucociliar pela tosse. Já as partículas solúveis se depositam sobre qualquer tecido do aparelho respiratório produzem irritação até a sua dissolução completa. Partículas pequenas se depositam profundamente na cavidade pulmonar e dependendo do seu nível de toxicidade podem ser dissolvidas e absorvidas pelo sangue ou podem ser sedimentadas pelas células macrófagas.

PARTÍCULAS DE POEIRA NO SISTEMA RESPIRATÓRIO	
Local	Forma de remoção
Fossas nasais	Principal filtro para eliminação das partículas de poeira. São duas cavidades paralelas que começam nas narinas e terminam na faringe. Possuem um revestimento dotado de células produtoras de muco e células ciliadas onde a poeira se deposita e pode ser removida após sedimentação, através do espirro ou levadas para faringe.
Faringe e laringe	O ar inspirado pelas narinas ou pela boca passa necessariamente pela faringe, antes de atingir a laringe. Desta forma, as partículas que entram pela boca ou ultrapassam as fossas nasais podem ser eliminadas ao se cuspir, através da tosse ou podem ser engolidas.
Traquéia e brônquios	A traquéia é um tubo de aproximadamente 1,5 cm de diâmetro por 10 a 12 cm de comprimento, que se bifurca na região inferior, originando os brônquios, que penetram nos pulmões. Possui epitélio com revestimento mucociliar, que adere e sedimenta a partícula de poeira em suspensão no ar inalado, que posteriormente serão engolidas ou expelidas, através do movimento ciliar.
Região dos alvéolos	Nos pulmões os brônquios ramificam-se profusamente, dando origem aos bronquíolos que terminam em pequenas bolsas formadas por células epiteliais, denominadas alvéolos pulmonares. As partículas de poeira que conseguem ultrapassar os demais sistemas de proteção e chegam aos alvéolos, podem ser removidas após sedimentação. Este processo ocorre através do sistema macrófago, que são células de defesa, responsáveis pela fagocitose ou processamento e assimilação dos objetos estranhos ao organismo. O tempo de vida de uma célula macrófoga está em torno de 2 a 4 semanas, mas se a partícula ingerida for altamente tóxica, pode matar a célula em horas. Com a morte desta célula são liberados pelo organismo os fibroblastos formando cicatrizes pulmonares ou fibrose. Quando este fato ocorre em demasia pode criar uma degeneração das células do pulmão causando a formações cancerígenas.

Quadro 13: Filtragem do ar inalado pelo sistema respiratório do ser humano
(Fonte: SANTOS, 2001 e SALIBA, 2002)

A composição química da partícula determina o tipo de reação produzida pelo organismo, para o qual uma partícula relativamente insolúvel é considerada como um corpo estranho que estimula os mecanismos de defesa e pode produzir mudanças significativas no tecido biológico.

De forma mais abrangente segundo a ACGIH (1998), a toxicidade do aerodispersóide sólido para a saúde humana também depende das condições ambientais do local de trabalho e das condições físicas do trabalhador. As condições ambientais são: concentração de partículas, temperatura ambiente, umidade relativa do ar e velocidade do ar; e as condições físicas do trabalhador são: a variabilidade individual, a saúde, o sexo, a idade e a forma de realização das tarefas. É importante ressaltar que a maioria dos trabalhadores quando possui algum tipo de obstrução nas fossas nasais, seja por enfermidade ou por irritação alérgica, respiram pela boca e desta forma o ar contaminado é direcionado diretamente aos pulmões, sem passar pelo sistema de filtração das vias aéreas superiores.

Ainda, de acordo com a ACGIH (1998), na determinação e medição da quantidade de aerodispersóides no ambiente de trabalho, existe uma relação entre o tamanho da partícula e o local de penetração destas no sistema respiratório, definido como:

- Fração inalável: particulado que passa pelos mecanismos de filtração das fossas nasais e da boca e entra no sistema respiratório;
- Fração torácica: particulado que consegue ultrapassar o sistema de filtração do ar da laringe e atinge a faringe, traquéia e brônquios;
- Fração respirável: particulado muito pequeno que passa pelos demais órgãos de filtração do ar e se deposita na região alveolar.

Em quantidade excessiva a poeira dispersa no ambiente de trabalho pode desenvolver doenças respiratórias em grau elevado afetando inclusive o sistema imunológico do indivíduo. Segundo Santos (2005) o acúmulo de partículas insolúveis nos pulmões, chamado de “sobrecarga de poeira”, pode ser resultado da exposição prolongada a baixos níveis de poeira ou da exposição curta a grandes níveis de concentração de poeira. O quadro 14 descreve os principais tipos de problemas desenvolvidos no ser humano, pela inalação de partículas de poeira sólida.

PROBLEMAS CAUSADOS PELA INALAÇÃO DE POEIRAS	
Reações	Descrição
Alérgicas	Dermatites, irritações nas mucosas do nariz, olhos e boca, superprodução de secreção de muco.
Tóxicas	Diminuição da capacidade produtiva de órgãos isolados como rins e fígado, pois alguns tipos de poeira possuem formação química composta.
Fibrogênicas	Endurecimento e fibrose no tecido pulmonar, além de problemas cardíacos. Sendo que, a fibrose é uma inflamação pulmonar crônica, ocasionando em muitos casos lesão no tecido ou engrossamento da parede pleural e diminuição da função pulmonar.
Cancerígenas	A inflamação pulmonar crônica pode originar tumores malignos no sistema pulmonar.

Quadro 14: Reações do organismo humano às poeiras sólidas
(Fonte: Adaptado de. NIOSH, 1994, ACGIH, 1998 e SANTOS, 2001)

2.4.3 Limites de Tolerância à Poeira

O risco ocupacional em um ambiente de trabalho pode ser determinado a partir da quantificação e determinação do tamanho das partículas suspensas no ar. Vários órgãos normatizadores como a ACGIH (1998), a ISO (*International Standards Organization*, 1995) e a CEN (*Comité Européen de Normalisation*, 1998), definiram valores para frações em massa de particulados prejudiciais à saúde, segundo o tamanho aerodinâmico de partículas progressivamente mais finas, nas concentrações de poeira inalável, torácica e respirável (quadro 15).

Segundo a ACGIH (1998), é convencionado a amostragem do particulado inalável quando o material é solúvel e pode entrar na corrente sanguínea ou ainda quando o particulado pode se transformar em um agente cancerígeno do sistema nasal. A amostragem da fração torácica é sugerida quando a toxicidade da poeira está relacionada a processos alérgicos como bronquite, asma ou tumores do trato respiratório superior. Por outro lado, quando a poeira inalada é insolúvel e de dimensões reduzidas ($< 10 \mu\text{m}$), é sugerida a amostragem da fração respirável, pois

são partículas que penetram na região de troca de gases dos pulmões e são responsáveis por doenças fibrogênicas além do câncer de pulmão.

FREQUÊNCIA DE MASSA DO PARTICULADO					
Inalável		Torácica		Respirável	
Ø aerodinâmico da partícula (µm)	% de massa de particulado	Ø aerodinâmico da partícula (µm)	% de massa de particulado	Ø aerodinâmico da partícula (µm)	% de massa de particulado
0	100	0	100	0	100
1	97	2	94	1	97
2	94	4	89	2	91
5	87	6	80,5	3	74
10	77	8	67	4	50
20	65	10	50	5	30
30	58	12	35	6	17
40	54,5	14	23	7	09
50	52,5	16	15	8	05
100	50	18	9,5	10	01
		20	6		
		25	2		

Quadro 15: Porcentagem em massa do particulado sólido para avaliação do risco ocupacional (Fonte: Adaptado de SANTOS, 2001 e SALIBA, 2002)

Entretanto, apenas caracterizar a concentração do particulado e o seu local de deposição no organismo humano não é suficiente para avaliar o risco ocupacional sofrido pelo trabalhador. A possibilidade de dano a saúde do trabalhador depende também da toxicidade do material inalado, ou seja, da composição química do particulado e da reação do sistema respiratório ao agente agressor, que pode ter variação entre os indivíduos. Desta forma o dano pode ser temporário ou permanente, dependendo do grau de contaminação e do tempo de assimilação do agente agressor pelos diferentes tipos de células do organismo.

A sílica é um mineral existente em vários materiais da crosta terrestre, sendo que pode-se determinar sua presença nas formas de sílica cristalina com grande potencial fibrogênico ou sílica amorfa de baixo potencial fibrogênico;

entretanto segundo Santos (2005) sob o efeito do aumento de temperatura as moléculas de sílica livre amorfa podem sofrer mutações e se transformar em sílica livre cristalina. A exposição dos trabalhadores de vários setores da indústria, seja ao quebrar, polir, usinar ou fundir materiais que contenham sílica pode causar sérias doenças no aparelho respiratório, como a silicose. Devido à sua toxicidade, a sílica cristalina reduz a capacidade respiratória do trabalhador, pois quando o ar inalado chega até os pulmões, em questão de horas causa a morte das células macrófagas criando uma espécie de cicatriz na parede pulmonar o que desencadeia a diminuição da elasticidade do tecido pulmonar, a redução da capacidade respiratória e posteriormente uma inflamação pulmonar crônica.

A classificação do tipo de silicose segundo Lima e Camarini (2006) depende do tempo de exposição, da concentração de sílica presente na fração respirável e da porcentagem de sílica respirável na fração de poeira total.(quadro 16). Entretanto a silicose é uma doença pulmonar considerada irreversível que progride mesmo quando a exposição a poeira contendo sílica é interrompida e dependendo das variações intra-individuais pode levar algum tempo para se manifestar. Assim sendo a melhor forma de prevenção da doença é impedir que o trabalhador inale qualquer tipo de poeira que contenha sílica livre cristalina (OSHA, 2002).

CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE SILICOSE	
Tipo	Característica
Silicose aguda	Até 2 anos de exposição a altas concentrações de sílica; sendo que em 1 ou 2 meses o trabalhador sente diminuição da capacidade respiratória, perde peso e o alto grau de debilidade pode leva-lo à morte.
Silicose acelerada	Entre 5 e 10 anos de exposição moderada; o trabalhador sofre a diminuição da capacidade respiratória, perde peso e sente uma grande debilidade corporal que com o passar do tempo pode levar a morte.
Silicose crônica	Entre 15 e 20 anos de exposição a baixa concentração de sílica livre cristalina; o trabalhador passa a ter dificuldade respiratória, dor no peito e se cansa facilmente.

Quadro 16: Classificação da silicose de acordo com o tempo de exposição sofrida pelo trabalhador
(Fonte: OSHA, 2002)

No Brasil o Ministério do Trabalho (MTb), determinou através da portaria nº 3214, anexo nº 12, da Norma Regulamentadora nº 15 (NR 15 / 1978), os Limites de Tolerância para Poeiras Minerais, sendo classificadas desta forma as poeiras de asbesto, sílica livre cristalina e manganês e seus compostos.

Entretanto, a partir de 1994, a legislação brasileira estabeleceu através da Norma Regulamentadora nº 9 (NR 9), referente ao Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), que na ausência de Limites de Tolerância (LT) para algum tipo de poeira no ambiente de trabalho, recomenda-se a utilização do limite de exposição adotado pela ACGIH. No entanto, como os limites estabelecidos pela ACGIH são para uma jornada de 8 horas por dia e 40 horas semanais eles devem ser corrigidos para a realidade brasileira (quadro 17) que é de 44 horas semanais.

FÓRMULA DE BRIEF & SCALA
$FR = \frac{40}{h} \times \frac{(168 \text{ h})}{128}$
Onde: FR = fator de redução h = jornada de trabalho em horas

Quadro 17: Determinação do fator de correção da jornada de trabalho para a realidade brasileira
(Fonte: SANTOS, 2001 e SALIBA, 2002)

O quadro 18, relaciona os valores do limite de tolerância de alguns particulados sólidos determinados pela ACGIH e o correspondente valor corrigido para a jornada de trabalho brasileira de 44 horas. Dependendo do tipo de particulado e conseqüentemente da sua concentração de sílica livre cristalina, os valores são expressos através da fração de poeira total (PT), ou seja, qualquer poeira, independente do seu tamanho, em suspensão no ambiente analisado; e da fração de poeira respirável (PR) ou seja, poeira de granulometria menor, que ultrapassa o sistema de filtragem do aparelho respiratório e chega até os pulmões.

LIMITE DE TOLERÂNCIA			
Tipo de particulado		LT _{ACGIH} mg/m ³	LT _{ACGIH/ jornada brasileira} mg/m ³
Sílica amorfa <small>Particulado total ou respirável sem asbesto e com percentual de sílica menor que 1%.</small>	PT	10	8,8
	PR	3	2,64
Sílica cristalina		0,025	0,022
Sílica fundida		0,1	0,088
Sílica precipitada		10	8,8
Cimento Portland <small>Particulado total ou respirável sem asbesto e com percentual de sílica menor que 1%.</small>		10	8,8
Caulim <small>Particulado total ou respirável sem asbesto e com percentual de sílica menor que 1%.</small>		2	1,76
Poeira de algodão sem fibras		0,2	0,176
Poeira metálica de cromo		0,5	0,44
Poeira metálica de ferro ou zinco		5	4,4
Poeira metálica de alumínio		1	0,88
Madeira dura (subdivisão angiospermas) <small>Particulado total ou respirável sem asbesto e com percentual de sílica menor que 1%.</small>		1	0,88
Madeira mole (subdivisão gminospermas) <small>Particulado total ou respirável sem asbesto e com percentual de sílica menor que 1%.</small>		5	4,4
PNOC (<i>Particulates not Otherwise Regulated</i>) <small>Particulado insolúvel não classificado de outra maneira, sem asbesto e com percentual de sílica menor que 1%, que permite a coleta de poeira total ou respirável.</small>	PT	10	8,8
	PR	3	2,64
<p>Onde: LT = limite de tolerância PT = poeira total PR = poeira respirável PNOC = particulado não classificado de outra maneira</p>			

Quadro 18: Limite de tolerância estabelecidos pela ACGIH para alguns particulados sólidos
(Fonte: Adaptado de SALIBA, 2002 e ACGIH, 2006)

2.4.4 Limites de Tolerância à Poeira de Madeira

Para a ACGIH (1991), a exposição ao pó de madeira pode causar problemas à saúde dos trabalhadores do setor de base florestal. Esta exposição pode ser classificada de duas formas: a exposição direta quando o trabalhador está sujeito ao contato direto com o pó da madeira, pois efetua o processamento da madeira; e a exposição indireta quando o pó de madeira fica disperso no ambiente e todos os trabalhadores terão contato com ela através do ar contaminado. A exposição indireta ao pó de madeira pode causar irritação nos olhos e mucosas, dermatites por contato e alérgicas, eritemas e problemas respiratórios como alergias, sinusites, asma e bronquite. Mas por outro lado a exposição direta pode transformar estes problemas em doenças crônicas inclusive com o aparecimento de carcinogêneres.

Segundo dados da NIOSH (1994) a preocupação com os problemas causados pelo pó de madeira existe há bastante tempo, em países como Inglaterra, Itália e Estados Unidos. Pesquisadores destes países como Bellion, Mattei e Treves (1964); Milham (1967); Spiers (1969); Sosman, Schlueter, Fink e Barboriak (1969); Greenberg (1972); Pickering, Batten e Pepys (1972); Eaton (1973); Black, Evans e Hadfield (1974); Milhan (1974); Solgaard e Andersen (1975); Andersen, Solgaard e Andersen (1976/77); Booth, LeFoldt e Moffitt (1976); Brinton, Stone, Blot e Fraumeni (1976); Chan-Yeung, Ashley e Corey (1978); Edwards, Brooks, Henderson e Apol (1978); Innocenti e Angotzi (1980); Beckman, Ashikaga e Whitehead (1980); Chan-Yeung, Giclas e Henson (1980); Whitehead, Ashikaga e Vacek (1981); Viren, Vogt e Dixon (1982); Blot, Davies e Brown (1982); Bush e Clayton (1983); Goldsmith (1983); Brinton, Blot e Becker (1984); Innocenti, Valiani e Vessio (1985); Imbus e Dyson (1985); Amooore (1986); Cartier, Chan e Malo (1986); Vedal, Chan-Yeung, Enarson (1986) e Miller (1988); desenvolveram, ao longo das décadas, estudos sobre o efeito do pó de madeira na saúde dos trabalhadores do setor moveleiro e da construção civil.

Entretanto, com o intuito de regulamentar o limite de exposição ao pó de madeira, em 1985, foi criado o *Occupational Safety and Health Review Commission* (OSHC), uma comissão voltada para a discussão e regulamentação do limite de exposição ao pó de madeira, que foi composta e apoiada por diversas organizações

normatizadoras internacionais. Assim sendo, o limite de tolerância TLV (*Threshold Limit Value*) determinado pela ACGIH (1994) ao pó de madeira maciça é de 1 mg/m³ para madeiras duras e 5 mg/m³ para madeiras moles ou gminospermas, para um período de 8 horas diárias ou 40 horas semanais, sendo que o limite máximo de exposição para madeiras moles é de 10 mg/m³, mas por períodos que não excedam 15 minutos e com intervalos de 60 minutos. Para o NIOSH (1992), o limite de exposição recomendado (REL - *Recommended Exposure Limit*) ao pó de madeira, é de 1mg/m³, tanto para madeiras moles quanto madeiras duras, para uma jornada de trabalho de até 10 horas diárias e/ou 40 horas semanais. Para o OSHA (1994) o limite de exposição recomendado (PEL - *Permissible Exposure Limit*) é de 15 mg/m³ para poeira total e 5 mg/m³ para a fração de poeira respirável, independente para madeira mole ou madeira dura. É importante ressaltar que cientificamente as madeiras duras são denominadas de angiospermas e as madeiras moles de gminospermas. (BURGER E RICHTER, 1991)

Cabe ressaltar que estes limites foram determinados a partir do estudo dos diversos tipos de madeira maciça, e que a separação estabelecida pela ACGIH do limite de tolerância para as madeiras duras e madeiras moles, deve-se ao fato da utilização de mais de um tipo de madeira em determinados países. Por outro lado, para o NIOSH e o OSHA a variedade de espécies de árvores existentes é muito grande, assim como as condições ambientais e climáticas que interferem nas suas propriedades físico-químicas e desta forma o limite de tolerância deve ser um só. Entretanto, existe uma exceção dada por todos os órgãos normatizadores, à madeira de cedro vermelho, que possui um limite de tolerância de 0,5 mg/m³, mais baixo que as demais espécies, pois irrita mais rapidamente as vias respiratórias.

Quanto à poeira proveniente do processamento de painéis de madeira reconstituída, formados a partir de partículas de madeira unidas através de um adesivo termofixo, sob efeito de calor e pressão, não existe nenhum limite de tolerância específico, definido por órgãos regulamentadores. Entretanto é importante ressaltar que a madeira *in natura* possui em sua composição química sílica amorfa (Si), que não é prejudicial à saúde humana. Entretanto para a formação do painel de madeira reconstituída é utilizado alta temperatura, que é segundo Santos (2005) um fator que altera a morfologia do mineral para sílica livre cristalina, este sim, um mineral prejudicial à saúde humana. Desta maneira, o particulado formado a partir da ruptura mecânica de painéis de madeira reconstituída deve ser classificado de

acordo com a tabela da ACGIH, como *Particulates not Otherwise Regulated* (PNOC) - Particulado Não Classificadas de Outra Maneira - ou seja, é um particulado potencialmente tóxico, com percentual de sílica livre cristalina menor que 1%, mas sem limite de tolerância e limite de concentração definidos.

2.4.5 Métodos de Análise para Aerodispersóide Sólido

2.4.5.1 Amostragem de particulado sólido

Na amostragem de particulado sólido, os parâmetros ambientais devem ser rigorosamente controlados e registrados, pois quando se trata de aerodispersóide suscetível a interferência externa estes fatores afetam no comportamento aerodinâmico e no tempo de deposição das partículas. Segundo Lima e Camarini (2006) através dos métodos específicos de coleta e análise pode-se definir o risco de silicose no particulado sólido analisado. Os tipos de amostragem mais utilizados para determinação da concentração de particulado sólido em análises de exposição ocupacional, são:

- Amostragem pessoal ou poeira respirável (PR): na qual o aparelho utilizado para coleta do particulado sólido é colocado próximo a zona de respiração do trabalhador, enquanto este realiza a sua atividade diária. É um tipo de amostragem que simula o sistema de filtragem do aparelho respiratório, separando apenas as partículas respiráveis e desta forma pode-se avaliar a exposição ocupacional direta dos trabalhadores.
- Amostragem total ou poeira total (PT): na qual o aparelho para coleta do particulado é colocado em um local pré-determinado no *layout* fabril, com grande circulação de trabalhadores e próximo as fontes geradoras de poeira. Este tipo de amostragem coleta qualquer tamanho de poeira dispersa no ar do ambiente de trabalho, permitindo a avaliação da exposição ocupacional indireta dos trabalhadores envolvidos no processo.

2.4.5.2 Análise gravimétrica

Esta análise tem por finalidade determinar a massa do aerodispersóide sólido, coletado sobre filtro de membrana, no ambiente de trabalho. Trata-se de um método de ensaio padronizado através das seguintes normas regulamentadoras:

- NHO 03 / FUNDACENTRO. Análise Gravimétrica de Aerodispersóides Sólidos Coletados Sobre Filtros de Membrana. Norma de Higiene Ocupacional, 2001.
- PV 2121 / OSHA. Gravimetric Determination. Partially Validated, 2003.

A escolha do tipo de filtro deve ser feita de acordo com a partícula a ser coletada, pois deve ser composto por um material que não venha a interferir nos procedimentos de análise da partícula. O filtro deve possuir 37 mm diâmetro, adaptável a um cassete de poliestireno interligado a uma bomba gravimétrica com vazão de 1 a 3 l/min.

Como procedimento padrão cada filtro de membrana deve ser pesado em balança analítica antes e depois da coleta do aerodispersóide sólido e ser estabilizado em ambiente climatizado, antes de cada pesagem, por um período mínimo de 3 horas. O laboratório de pesagem deve possuir ambiente controlado, a uma temperatura de 20°C ±5°C e umidade relativa do ar de 50% ±5%.

A partir dos dados obtidos pela diferença de massa, calcula-se a massa da amostra coletada sobre o filtro (quadro 19), sendo que esta deve estar entre 0,1 mg e 2,0 mg. A estimativa de perda de amostra é de 0,03 mg.

$ma = mf - mi$
Onde: ma = massa da amostra (mg) mf = massa do filtro carregado (mg) mi = massa do filtro virgem (mg)

Quadro 19: Cálculo da massa do particulado sólido coletado no ambiente de trabalho através de análise gravimétrica
(Fonte: NHO 03, 2001)

Dois filtros devem ser escolhidos aleatoriamente como filtros testemunhos e permanecerão em ambiente controlado durante todo o processo de coleta e análise das amostras. A pesagem dos filtros testemunho, deve ocorrer sempre que os filtros amostrados forem pesados, pois a variação de massa detectada entre as duas pesagens do filtro testemunho, em dias diferentes, irá determinar o fator de correção (quadro 20) para as amostras coletadas.

$F = \frac{(c - a) + (d - b)}{2}$	
Sendo que:	
se $F > 0$	\longrightarrow $mc = ma - F$
se $F < 0$	\longrightarrow $mc = ma + F$
Onde: F = fator de correção a = massa inicial do filtro testemunho 1 b = massa inicial do filtro testemunho 2 c = massa final do filtro testemunho 1 d = massa final do filtro testemunho 2 mc = massa corrigida (mg) ma = massa da amostra (mg)	

Quadro 20: Fator de correção para o cálculo da massa corrigida do particulado coletado no ambiente de trabalho através de análise gravimétrica
(Fonte: NHO 03, 2001)

De acordo com a NHO 03 (2001), um item que requer atenção na análise gravimétrica, refere-se à energia eletrostática assimilada pelos filtros de membrana durante o manuseio e a amostragem, entretanto, com a estabilização do filtro por no mínimo 3 horas em ambiente climatizado, esta carga energética é neutralizada em grande parte, tornando-se um valor desprezível.

A técnica da análise gravimétrica também é utilizada como base para o cálculo da concentração de partículas (quadro 21), que é determinada através da razão entre a massa de poeira coletada sobre o filtro, pelo volume amostrado expresso em mg/m^3 .

$C = \frac{m_c}{V_a} \cdot 10^3$
sendo que: $V_a = Q_m \cdot t_a$
Onde: C = concentração de partículas na amostra (mg/m ³) m_c = massa corrigida (mg) V_a = volume amostrado (m ³) Q_m = vazão média da bomba (l/min) t_a = tempo de amostragem (min)

Quadro 21: Determinação da concentração de partículas sólidas coletadas no ambiente de trabalho através de análise gravimétrica
(Fonte: NIOSH, 1994)

O valor da concentração de partículas é uma forma de análise quantitativa das partículas e deve ser comparado com o limite de tolerância ao particulado analisado, determinado pela ACGIH (quadro 22), seja para poeira total (PT) ou poeira respirável (PR). Caso o valor da concentração de partículas seja menor que o limite de tolerância não há risco na exposição dos trabalhadores ao ambiente de trabalho, mas se o valor ultrapassar o limite de tolerância previsto, há risco dos trabalhadores contraírem algum tipo de doença ocupacional.

Sendo que: Se C > LT_{ACGIH} → existe risco ocupacional Se C < LT_{ACGIH} → não existe risco ocupacional
Onde: C = concentração de partículas na amostra LT_{ACGIH} = Limite de tolerância estabelecido pela ACGIH

Quadro 22: Determinação do risco ocupacional através da comparação da concentração de partículas coletadas no ambiente de trabalho com o LT_{ACGIH}
(Fonte: NIOSH, 1994)

2.4.5.3 Análise microscópica dimensional do particulado sólido

A medição de qualquer material particulado sólido, pode ocorrer de forma manual, semi-automática ou automática; sendo que os métodos indiretos de medição e contagem de partículas, nos quais se utiliza a microscopia ótica e microscopia eletrônica aliada a analisadores de imagem, são padronizados pelas seguintes normas regulamentadoras:

- ASTM E112-96: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size (Reapproved 2004).
- ASTM E1382-97: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis (Reapproved 2004).

a) Microscopia ótica

Para observação e posterior realização da análise estatística de particulados sólidos, utiliza-se a microscopia ótica (MO) com sistema de luz polarizada ou luz transmitida. Este é um método de referência primário, utilizado para análises de particulado sólido, podendo produzir uma ampliação do campo microscópico na ordem de até 2000 vezes dependendo da resolução do aparelho e do material analisado.

Com a utilização do microscópio ótico com luz polarizada, a iluminação do campo de análise é feita de cima para baixo, através do conjunto ótico do microscópio incidindo sobre a amostra e desta forma a topografia de superfícies opacas podem ser observadas. A formação da imagem é resultado da reflexão da luz nas diversas áreas do campo microscópico, sendo que os objetos de análise irão se apresentar em tom mais escuro.

Para partículas sólidas, a análise do campo microscópico e a medição do tamanho das partículas é realizada de forma indireta, através da captação da

imagem por um sistema de vídeo digital, acoplado ao microscópio, e interligado a um sistema de aquisição e tratamento de imagens.

A deposição do aerodispersóide sólido sobre um filtro de membrana facilita a análise por microscopia ótica com sistema de luz polarizada, pois os objetos de análise são suscetíveis a interferência externa. Desta forma as partículas que estão no mesmo plano focal poderão ser observadas diretamente sem modificar seu grau de dispersão, sua representatividade e suas características físicas.

b) Microscopia eletrônica

Para uma análise morfológica mais detalhada do particulado sólido, utiliza-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV), pois possui grande poder de resolução e profundidade de foco. Dependendo do aparelho e do material analisado, pode-se produzir uma ampliação do campo microscópico na ordem de até 300.000 vezes e efetuar a medição de partículas de até 10^{-3} μm . A análise efetuada pelo MEV ocorre através da varredura da superfície observada por um feixe de elétrons ponto a ponto. A partir desta varredura são formadas radiações de elétrons secundários (ES) e de elétrons retroespalhados (ERE), fornecendo uma imagem de aparência tridimensional do objeto de estudo e desta forma detalhes topográficos individuais podem ser observados.

Em análises de particulado sólido suscetível a interferência externa através do MEV, não se deve utilizar a técnica de preparação com recobrimento metálico, recomendado para outros tipos de materiais, pois pode alterar a forma e a distribuição das partículas. Portanto, a observação das partículas é feita diretamente sobre filtro de membrana no qual as partículas foram depositadas, regulando a câmara de análise do microscópio em baixo vácuo. Entretanto pode ocorrer uma pequena movimentação das partículas sobre o filtro de membrana, quando atingidas pelo feixe de elétrons do MEV, o que pode alterar a distribuição das partículas, determinando esta técnica como um método destrutivo.

A imagem obtida do campo microscópico pode ser analisada em tempo real, pois o MEV possui acoplado um sistema para análise dimensional de elementos ou

pode ser analisada de forma indireta, através captura da imagem digital por um sistema de aquisição e tratamento de imagens.

O potencial analítico do MEV pode ser ampliado com a adaptação de um espectrômetro de energia dispersiva (EDS), com o qual é possível realizar a análise da composição química da amostra, através da emissão de raios-X. Para a realização da análise por EDS é necessária a coleta de uma amostra padrão, que contenha todos os elementos do material original, pois eles serão identificados através da sua massa molecular. Entretanto é importante ressaltar que elementos leves ou de baixa massa molecular como o hidrogênio (H), carbono (C) e nitrogênio (N) são de difícil quantificação por EDS, pois possuem baixo índice de absorção e distribuição dos raios-X.

Na análise química de uma partícula sólida por EDS, considera-se que apenas a presença de mais de 10% de um elemento na amostra, garante sua representatividade no material original, desta forma somente os elementos estatisticamente significantes é que devem ser considerados na análise qualitativa.

c) Determinação do tamanho da partícula sólida

O método utilizado para a medição do tamanho das partículas deve ser determinado criteriosamente, pois as partículas precisam ser cuidadosamente manipuladas para não alterar suas características morfológicas (figura 9). Com a medição direta do tamanho da partícula, obtêm-se o diâmetro geométrico equivalente, ou o parâmetro de medida linear representativo da partícula, tal qual:

- \emptyset da circunferência com medida igual ao lado menor (a);
- \emptyset da circunferência com medida igual ao lado maior (b);
- \emptyset da circunferência de igual volume (v);
- \emptyset da circunferência de igual perímetro (p);
- \emptyset da circunferência de mesma área projetada (A).

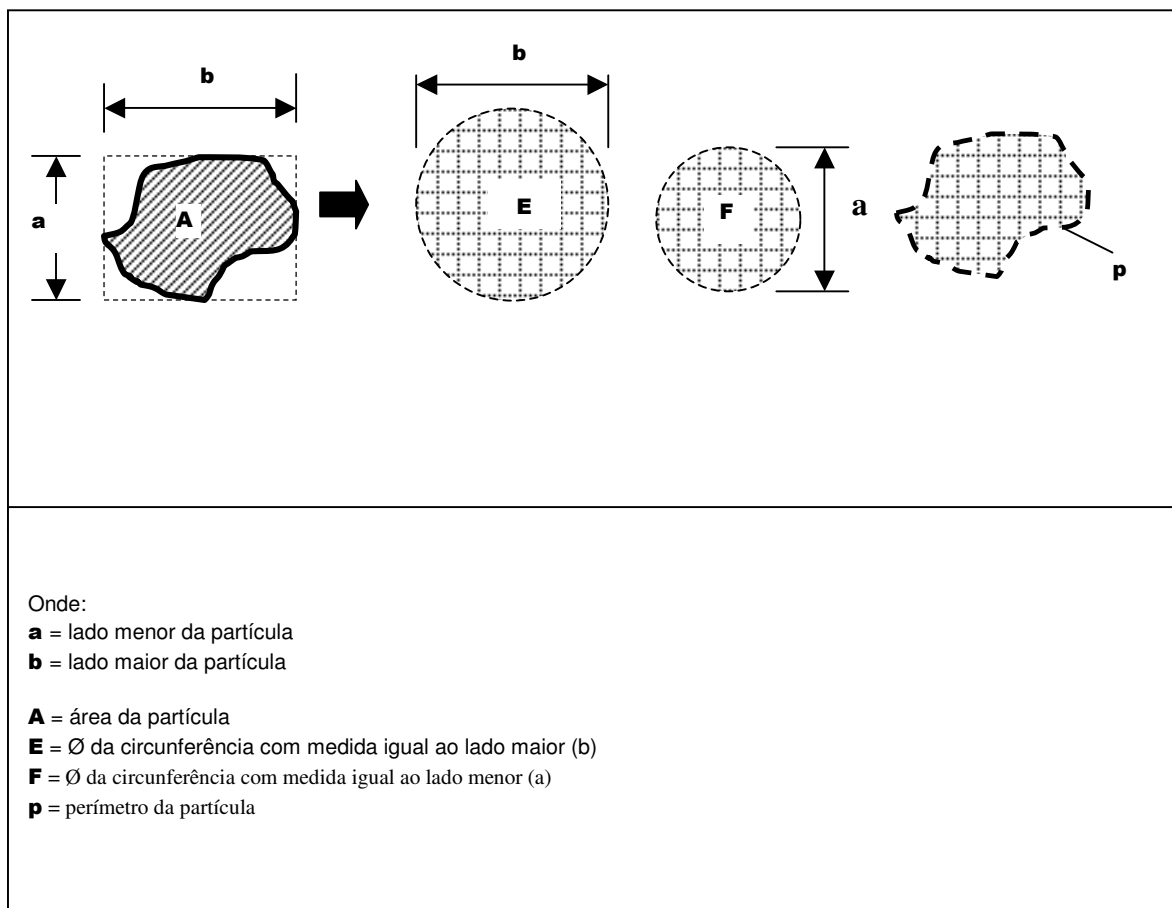


Figura 9: Medidas de comprimento utilizadas para determinação do diâmetro equivalente em particulado sólido
 (Fonte: Adaptado pela Autora, 2008)

Após determinado o parâmetro representativo do diâmetro da partícula, este deve ser utilizado até o final de cada estudo, pois parâmetros diferentes não podem ser comparados, tendo como penalidade a distorção dos resultados.

Para a realização de análise estatística de aerodispersóides sólidos, as partículas medidas devem ser escolhidas de modo aleatório dentro do campo microscópio e consideradas como uma amostra representativa da população total de partículas.

Os métodos para medição do diâmetro geométrico equivalente (figura 10) mais utilizados em análise de aerodispersóides sólidos, são: o diâmetro da esfera equivalente (de), diâmetro de Martim (dm) e diâmetro de Feret (df).

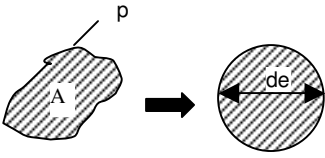
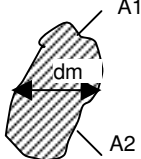
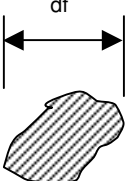
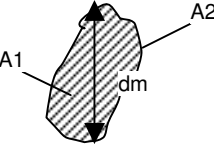

Diâmetro da esfera equivalente (de)	Diâmetro de Martim (dm)	Diâmetro de Feret (df)
medida do diâmetro de um círculo com a mesma área e perímetro da partícula	medida do segmento de reta que divide a partícula em duas áreas iguais, fixada no sentido vertical ou horizontal	medida do segmento de reta paralelo a uma dimensão da partícula, fixada no eixo vertical ou horizontal
 <p>sendo que:</p> $\varnothing = \frac{p}{\pi}$ $de = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$	 <p>dm horizontal</p>	 <p>df horizontal</p>
	 <p>dm vertical</p>	 <p>df vertical</p>
<p>Onde:</p> <p>de = diâmetro equivalente</p> <p>A = área da partícula</p> <p>p = perímetro da partícula</p>	<p>Onde:</p> <p>dm = diâmetro de Martim opcional vertical ou horizontal</p> <p>A1 = área 1</p> <p>A2 = área 2</p>	<p>Onde:</p> <p>df = diâmetro de Feret; opcional vertical ou horizontal</p>

Figura 10: Diâmetros geométricos equivalentes para medição de partículas sólidas irregulares
(Fonte: Adaptado pela Autora, 2008)

Estatisticamente, o diâmetro geométrico equivalente organizado em intervalos de classe linear é o valor representativo em análises quantitativas. Entretanto em análise de aerodispersóide sólido este resultado deve ser utilizado apenas como parâmetro comparativo de dados, pois não representa na sua totalidade o comportamento aerodinâmico da partícula em suspensão. Segundo Santos (2005), para a análise de particulado sólido, é mais indicado a utilização de intervalos de classe logarítmico, onde em uma distribuição lognormal os dados coletados vão determinar, em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico de diâmetro, a frequência de aparecimento do diâmetro médio das partículas.

Entretanto, na medição de partículas sólidas apenas a determinação do diâmetro geométrico equivalente não é suficiente para representar o comportamento aerodinâmico das partículas quando em suspensão no ar; assim sendo deve-se buscar o diâmetro aerodinâmico da partícula que segundo Hinds e Willeke *apud* Santos (2005, p 28) é definido:

... como uma esfera hipotética de densidade igual a 1 g/cm³, tendo a mesma velocidade terminal de deposição em ar calmo que a partícula em questão, desconsiderando seu tamanho geométrico, forma e densidade verdadeiras.

Para a determinação do comportamento aerodinâmico de partículas sólidas utiliza-se o cálculo de frequência em massa, que é baseado na densidade do material, no diâmetro equivalente médio das partículas e na quantidade de partículas medidas em cada intervalo de classe (quadro 23). Assim sendo, o valor da frequência em massa obtido, deve ser considerado para análise dos aerodispersóides sólidos no ambiente de trabalho e o seu grau de penetração no trato respiratório dos trabalhadores, pois é o valor mais representativo das partículas e do seu comportamento aerodinâmico.

$m_f = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho \cdot n$
<p>Onde: m_f = frequência em massa das partículas (mg) n = número de partículas no intervalo de classe d = diâmetro médio no intervalo de classe (µm) ρ = densidade do material</p>

Quadro 23: Determinação da frequência em massa ou comportamento aerodinâmico de partículas sólidas no ambiente de trabalho
(Fonte: NIOSH, 1994)

É importante ressaltar que, quando a frequência em massa é calculada para partículas provenientes de um material homogêneo, deve-se considerar para o cálculo, a mesma densidade do material original.

2.4.5.4 Determinação da quantidade sílica livre cristalina

Para caracterizar o limite de tolerância do particulado sólido e o risco da exposição ocupacional dos trabalhadores ao material é importante determinar a porcentagem de sílica cristalina presente na sua composição. Este tipo de análise é padronizada através do seguinte método de ensaio:

- Method 7602 / NIOSH - SÍLICA, CRYSTALLINE BY IR (K BR PELLET), in Manual of Analytical Methods (NMAM, 2003).

Este método determina que a coleta da amostra do particulado sólido deve ser feita de forma criteriosa através da análise gravimétrica, sendo que a massa de particulado coletado sobre o filtro de membrana, deve estar na faixa de 1,0 a 2,0 mg.

Entretanto, em uma de suas particularidades, o método 7602 (2003), prevê a análise de amostras de particulado sólido coletadas sobre as superfícies de trabalho. Para a realização da análise o material é prensado transformando-se em uma massa compacta de partículas com peso máximo de 0,9 mg.

A análise química do particulado sólido é executada através de espectrofotometria na região do infravermelho, que determina a composição química do material através das propriedades de absorção ou reflexão das radiações na região dos raios infravermelhos. A absorção da radiação ocorre apenas para determinados valores de energia, que são característicos das moléculas. Assim, através da comparação, é possível identificar os tipos de moléculas presentes na amostra.

Matematicamente, a porcentagem de sílica livre cristalina da amostra de particulado sólido (quadro 24) é definida pela razão entre a massa de sílica e a massa total da amostra.

$\%SiO_2 = \frac{m_s}{m_c} \cdot 100$
<p>Onde: $\% SiO_2$ - porcentagem de sílica cristalina na amostra m_s = massa de sílica livre cristalina (mg) m_c = massa corrigida da amostra (mg)</p>

Quadro 24: Determinação da porcentagem de sílica cristalina em amostras de particulado sólido (Fonte: NIOSH, 2003)

A porcentagem de sílica cristalina detectada em amostras de particulado sólido, é utilizada tecnicamente para estabelecer o limite de tolerância específico para o particulado sólido analisado (quadro 25), de acordo com o critério matemático estabelecido pela NIOSH (2003), seja para poeira total (PT) ou poeira respirável (PR). O valor do limite de tolerância calculado também pode ser confrontado com a concentração de partículas encontrada na amostra, o que determinará a existência de risco ocupacional na exposição específico ao particulado sólido amostrado.

$LT_{(PT)} = \frac{24}{\%SiO_2} + 3$ $LT_{(PR)} = \frac{8}{\%SiO_2} + 2$
<p>Onde: $LT_{(PT)}$ = limite de tolerância para poeira total (mg/m³) $LT_{(PR)}$ = limite de tolerância para poeira respirável (mg/m³) $\% SiO_2$ = porcentagem de sílica cristalina na amostra</p>

Quadro 25: Cálculo do limite de tolerância específico para o particulado sólido amostrado (Fonte: NIOSH, 2003)

Outra forma de analisar o risco ocupacional à exposição ao particulado é determinar a concentração de sílica livre cristalina presente na amostra (quadro 26), e confrontar com o limite de tolerância à sílica cristalina determinado pela ACGIH.

$C_{sc} = \frac{m_s}{V_a} \cdot 100$	sendo que: $m_s = \frac{\%SiO_2 \cdot m_c}{100}$
<p>Onde: C_{sc} = concentração de sílica na amostra em (mg/m³) m_s = massa de sílica da amostra (mg) V_a = volume da amostra (m³)</p>	<p>Onde: $\% SiO_2$ = porcentagem de sílica cristalina na amostra m_s = massa de sílica livre cristalina (mg) m_c = massa corrigida da amostra (mg)</p>
<p>Sendo que:</p> <p>Se $C_{sc} > LT_{sc}$ → existe risco ocupacional</p> <p>Se $C_{sc} < LT_{sc}$ → não existe risco ocupacional</p>	
<p>Onde: C_{sc} = concentração de sílica na amostra em (mg/m³) LT_{sc} = limite de tolerância da ACGIH para sílica livre cristalina (mg/m³)</p>	

Quadro 26: Concentração da sílica livre cristalina no particulado sólido amostrado para análise de risco de exposição ocupacional (Fonte: NIOSH, 2003)

2.4.5.5 Determinação da concentração de formaldeído

Para determinação da concentração de formaldeído em particulado sólido o método de análise recomendado é:

- Method 2016 / NIOSH - FORMALDEHYDE, in Manual of Analytical Methods (NMAM, 2003).

A técnica de análise prescrita pelo método é a cromatografia líquida de alta eficiência e detecção ultra-violeta (UV). Para a análise é utilizado dinitro-fenil-hidrazina (DNPH), sendo que o volume de material amostrado pode variar de 0,015 a 2,5 mg/m³ ou 0,012 a 2,0 ppm para 15 litros de material amostrado. Este método é utilizado para determinar o limite de tolerância e o limite máximo de exposição permitido ao formaldeído.

Matematicamente a concentração de formaldeído (quadro 27) no material amostrado, é definida pela razão entre a diferença de massa de formaldeído encontrado na amostra e a massa residual do campo branco com o volume total amostrado.

$C_f = \frac{(m_w \cdot m_B)}{V_a}$
<p>Onde:</p> <p>C_f = concentração de formaldeído (µg /L)</p> <p>m_w = massa de formaldeído encontrado na amostra (µg)</p> <p>m_B = massa do branco de campo (µg)</p> <p>V_a = volume amostrado (l/min)</p>
<p>Sendo que:</p> <p>µg /L ≡ mg/m³</p> <p>1,23 mg/m³ = 1ppm</p>

Quadro 27: Concentração de formaldeído em particulado sólido amostrado para análise de risco de exposição ocupacional
(Fonte: NIOSH, 2003)

Por ser considerada uma substância com grande potencial cancerígeno, a exposição ao formaldeído, mesmo sendo de curta duração, pode ocasionar o aparecimento de doenças ocupacionais. Desta forma a concentração de formaldeído determinada através do método de análise deve ser confrontada com o limite de tolerância à substância determinado pela ACGIH, que é de 0,3 ppm ou 0,369 mg/m³.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão relatados os procedimentos e métodos utilizados para realização do experimento, sendo que a preparação, a coleta e a medição das partículas sólidas, foram tecnicamente realizadas de acordo com os critérios estabelecidos na metodologia científica, visando obter maior representatividade da exposição ocupacional dos trabalhadores da indústria da madeira.

Para a obtenção dos resultados de interesse no desenvolvimento do presente trabalho, foi realizado um estudo de caso, pois no contexto da análise ergonômica é importante que as variáveis pertinentes ao processo sejam observadas de forma que suas influências possam ser parcialmente controladas. Desta forma, as variáveis dependentes, como as características da matéria-prima e do processamento mecânico dos painéis de partícula de madeira, e as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar, puderam ser identificadas e foram passíveis de um processo descritivo nos procedimentos de análise; e as variáveis independentes puderam ser observadas e relatadas, ao exemplo do comprimento da linha de corte e a espessura do painel de partículas de madeira.

Assim sendo, a coleta de amostras de particulado sólido de painéis de madeira reconstituída, foi realizada em uma indústria de painéis de madeira aglomerada, uma empresa de grande porte, localizada na Região Sul do Brasil.

3.1 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE

O *layout* fabril da empresa onde foi realizado o estudo de caso é organizado de acordo com o processo produtivo de linha contínua de fabricação de painéis aglomerados. O processo envolve as práticas de transporte de toras; retirada da casca; formação do particulado; secagem e separação das partículas; colagem; formação do colchão de partículas; pré-prensagem a frio; compactação e prensagem a quente; secagem e estabilização do painel em estufa; acabamento superficial em lixadeira contínua; corte no tamanho final das chapas e armazenamento. Entre os resíduos finais deste processo tem-se o aerodispersóide sólido suspenso no ar,

porém a indústria possui uma central de exaustão com pontos específicos para cada maquinário e, desta forma, a maior parte da poeira é aspirada e utilizada como combustível na co-geração de energia.

Por se tratar de uma linha de produção contínua, todos os processos são automatizados, através de máquinas com comandos CNC (*Computer Numeric Control*), operando 24 horas por dia, em três turnos de trabalho. Entretanto, dentro do processo produtivo existe a necessidade de refilar painéis de madeira aglomerada em medidas especiais e, para tanto, é utilizado uma seccionadora modelo NS 4.0 (figura 11), da marca S. A. E. Sul Americana Equipamentos. Como esta seccionadora possui o mesmo porte dos maquinários utilizados na indústria moveleira, a coleta de amostras de aerodispersóides sólidos produzidos através da ruptura mecânica de painéis de madeira aglomerada foi feita próximo a este equipamento.

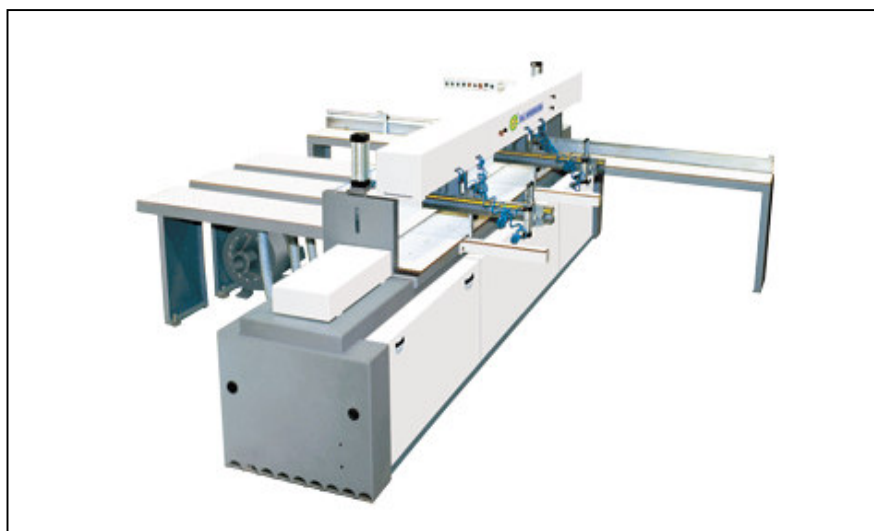


Figura 11: Seccionadora NS 4.0 da marca S. A. E. Sul Americana Equipamentos
(Fonte: SAE- Sul Americana Equipamentos, 2007)

A seccionadora apresentada na figura 11 é operada por 4 funcionários, que trabalham em apenas um turno de 8 horas, das 7:00 às 15:30 h, com 1 hora de almoço, próximo das 11:30 h, 6 dias por semana, dando um total de aproximadamente 44 horas semanais. É importante ressaltar que as atividades de corte de chapas neste maquinário se encerram em torno das 15:00h, todos os dias,

pois a partir deste horário os trabalhadores efetuam a limpeza do local e remoção da poeira acumulada. As especificações de interesse da serra seccionadora estão descritas no quadro 28, sendo que o processamento observado, consistiu em cortes retos que variaram o comprimento de 1850 a 2240 mm, em chapas de aglomerado *in natura* com espessuras de 10, 12, 15, 18, 20 e 25 mm, de forma a otimizar a utilização destes painéis. Raramente ocorre o corte de painel aglomerado com acabamento superficial melamínico de baixa pressão (BP) e *finish foil* (FF), mas quando isto ocorre é necessário efetuar a troca de serra, visando proporcionar um melhor acabamento final à linha de corte.

SECCIONADORA NS 4.0	
Comprimento de corte útil	4.000 mm
Espessura de corte útil	105 mm
Velocidade de avanço de corte	25 m/min
Dimensões do maquinário	6.500 x 6.500 mm
Altura da mesa de trabalho	950 mm
Mesas de apoio (3)	2.000 x 500 mm
obs: o corte pode iniciar em qualquer lugar da linha de corte, diminuindo o tempo de processamento	

Quadro 28: Dados técnicos de interesse da seccionadora NS 4.0
(Fonte: Site institucional: SAE- Sul Americana Equipamentos, 2007)

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

A matéria-prima básica utilizada na formação do painel aglomerado analisado foi madeira de *Pinus spp* e resina uréia-formaldeído (UF); a partir de três camadas de deposição de partículas, sendo a camada interna (CI) com granulometria maior que as duas camadas externas (CE) formada por partículas menores. Para tanto as partículas passaram por silos dosadores que, através de peneiras de diferentes gramaturas, selecionavam o tamanho das partículas para as classes CI e CE (quadro 29), visando proporcionar maior qualidade no acabamento final do painel.

PORCENTAGEM DE PARTÍCULAS QUE PASSAM PELA MALHA DO SILO DOSADOR					
CAMADA INTERNA - CI					
Malha da peneira (μm)	4000	2000	1000	500	300
% média de partículas que passam pela peneira	92,8	66,3	25,0	3,2	1,1
CAMADA EXTERNA - CE					
Malha da peneira (μm)	1180	1000	840	500	300
% média de partículas que passam pela peneira	100	100	98,4	62,55	33,2

Quadro 29: Seleção das partículas para CI e CE do painel aglomerado
(Fonte: Adaptado pela Autora, 2008)

É importante ressaltar que a qualidade técnica dos painéis de madeira aglomerada é descrita pelas suas propriedades físicas, que devem estar em consonância com a norma EN 312 (2003). Entre elas o quadro 30 apresenta as de interesse para o presente trabalho.

MÉDIA DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO PAINEL AGLOMERADO			
Tipo	Unidade	Espessura do painel (mm)	Valor médio
Densidade	Kg/m^3	8 a 12	690 a 660
		15 a 20	640 a 630
		22 a 25	620 a 615
		28	610
Densidade camada externa	Kg/m^3	8 a 25	> 950
Inchamento	%	8 a 25	6
Umidade	%	8 a 25	7
Teor de formaldeído	mg formol/ 100g de amostra seca	8 a 25	16

Quadro 30: Propriedades físico-mecânicas dos painéis de madeira aglomerada
(Fonte: Adaptado pela Autora, 2008)

3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

3.3.1 Determinação da Concentração de Partículas

A partícula sólida proveniente do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada não possui classificação específica determinada pela *American*

Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) e foi considerada como *Particulates not Otherwise Regulated* (PNOC – Particulado não classificado de outra maneira). Desta forma, para análise deste tipo de partícula, utilizaram-se os seguintes métodos descritos no *Manual of Analytical Methods* (NMAM / NIOSH):

- Method 0500 / NIOSH – PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, TOTAL, Issue 2, de 15/08/1994.
- Method 0600 / NIOSH – PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, RESPIRABLE, Issue 3, de 15/01/1998.

Nos dois métodos citados a técnica para a determinação da concentração de partículas é a análise gravimétrica. Desta forma, o equipamento de coleta utilizado no experimento foi a bomba gravimétrica da marca *Mine Safety Appliances Company* (MSA), modelo Escort Elf, n° série 17410, (figura 12) com vazão de 1 a 3 l/min e sensor eletrônico de fluxo laminar, que garante vazão constante.



Figura 12: Bomba de amostragem marca MSA utilizada para coleta do aerodispersóide sólido do aglomerado
(Fonte: A Autora, 2008)

De acordo com o procedimento padrão determinado pela NIOSH (1994/98), a bomba gravimétrica foi calibrada conforme consta do Certificado de Calibração n° 6330-434, de 02/05/07 (anexo A), emitido pela empresa Total Safety Ltda.

Como suporte para coleta do material particulado sólido do aglomerado foi definido o filtro de PVC (policloreto de vinila) de 0,5 µm de porosidade e 37 mm de diâmetro, com *support pads*, comercializado pela *Environmental Monitoring Systems Inc.* (EMS) sob o código 900133, adaptável ao cassete de poliestireno de 37 mm. Na figura 13 tem-se a imagem da embalagem dos filtros e do *support pad*, com a

respectiva codificação, assim como um detalhe da imagem ampliada do filtro, obtida através de microscopia ótica a uma ampliação de 50 vezes, obtidas através de uma escala micrométrica padrão do analisador de imagens *Image-Pro Plus 4.0*.

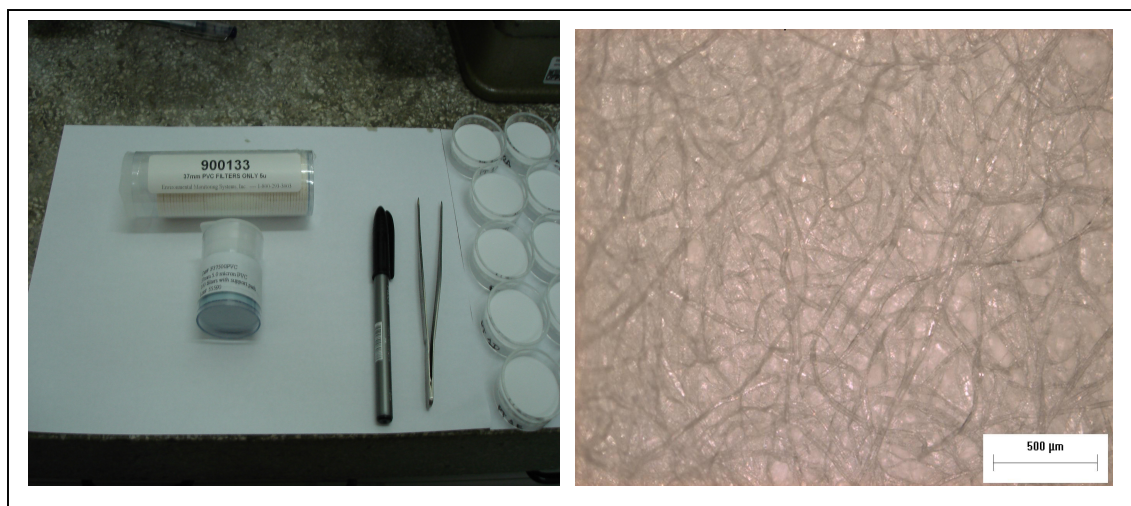


Figura 13: Imagem do filtro de PVC utilizado para coleta do aerodispersóide sólido do aglomerado, com detalhe de ampliação por microscopia ótica de 50 vezes (Fonte: A Autora, 2008)

Para registrar a variação de temperatura e da umidade relativa do ar, durante o período de cada amostragem, foi utilizado o termo-higrômetro HT-208 da marca ICEL-Manaus, (figura 14) com sensor de variação de temperatura interna de 0 a 50 °C e de variação de umidade de 20 a 90%, sendo que a garantia de calibração é emitida pelo próprio fabricante.



Figura 14: Termo-higrômetro utilizado para registro de variações dos parâmetros ambientais durante a amostragem (Fonte: A Autora, 2008)

Na instalação e fixação dos equipamentos de medição no local de amostragem, próximos ao maquinário (figura 15), foi utilizado um tripé de alumínio com sapatas niveladoras e altura regulável entre 100 e 160 mm.



Figura 15: Instalação dos equipamentos de medição utilizados no local de amostragem (Fonte: A Autora, 2008)

Como procedimento padrão, antes da coleta do particulado sólido no local de amostragem, todos os filtros foram dessecados em caixa de estabilização desenvolvida para este fim, por 24 horas (figura 16), no Laboratório de Química da Madeira, pertencente a Universidade Federal do Paraná (UFPR), com temperatura controlada entre 20 e 25°C e umidade relativa do ar controlada entre 41 e 51%.

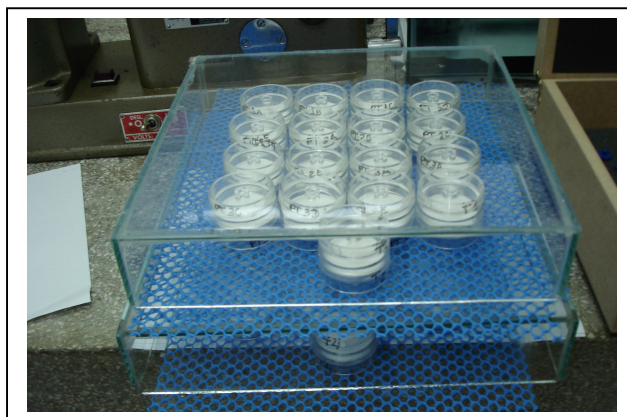
A clear plastic tray containing several small, round, white filters arranged in a grid pattern on a blue perforated surface.

Figura 16: Caixa de estabilização e dessecação dos filtros (Fonte: A Autora, 2008)

Após o período de estabilização todos os filtros foram pesados individualmente, em balança analítica com precisão de 0,0001 g, da marca *Ohaus Analytical Plus* n° de série 1113311597XV (figura 17), pertencente ao Laboratório de Química da Madeira da UFPR.



Figura 17: Pesagem dos filtros em balança analítica do Laboratório de Química da Madeira (Fonte: A Autora, 2008)

Depois da pesagem cada filtro foi depositado no cassete poliestireno, que foi fechado com prensa manual, codificado e vedado com fita de teflon (figura 18).

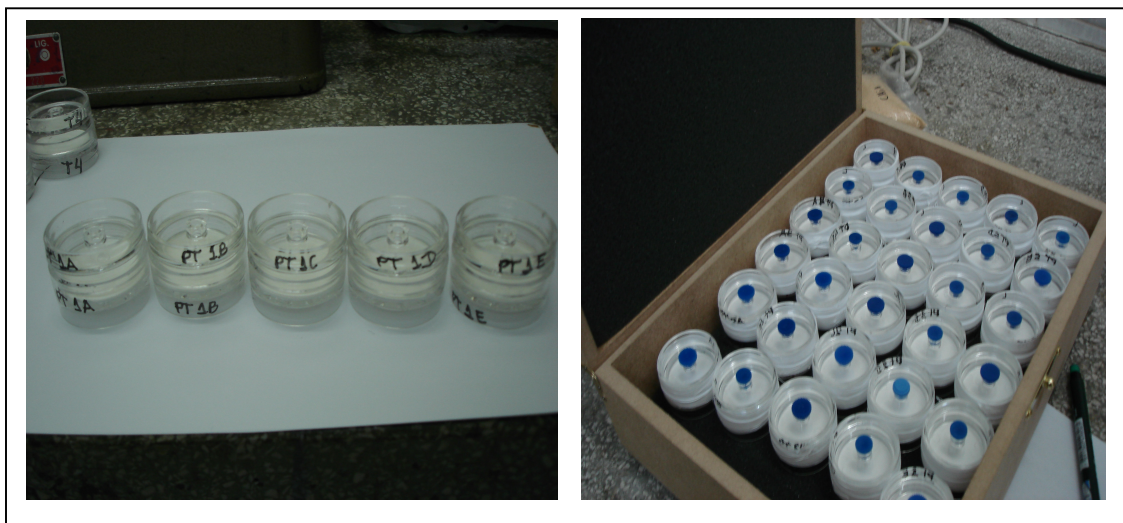


Figura 18: Fechamento e codificação dos cassetes (Fonte: A Autora, 2008)

Testes de perda de carga foram realizados em todos os cassetes após a vedação, com monômetro de coluna d'água em "U", e quatro cassetes foram descartados por apresentarem perda maior de 50 mmCA. Entre os cassetes aprovados, dois foram escolhidos de forma aleatória para permanecerem no laboratório e atuarem como filtros testemunhas com a codificação de T1 e T2.

Para a coleta de amostra de poeira total (PT) ou amostragem ambiental estática, o cassete contendo o filtro foi colocado no suporte específico para este tipo de coleta e fixado no tripé de alumínio a 1200 mm do chão, e uma distância de 300 mm do maquinário (figura 19). É importante ressaltar que o sistema de exaustão situado sobre o maquinário estava ligado.

O cassete foi conectado diretamente na bomba de amostragem, com uma vazão de 2,00 l/m e, como a bomba gravimétrica utilizada possui vazão auto-ajustável, não foi necessária a conferência da calibração a cada medição.

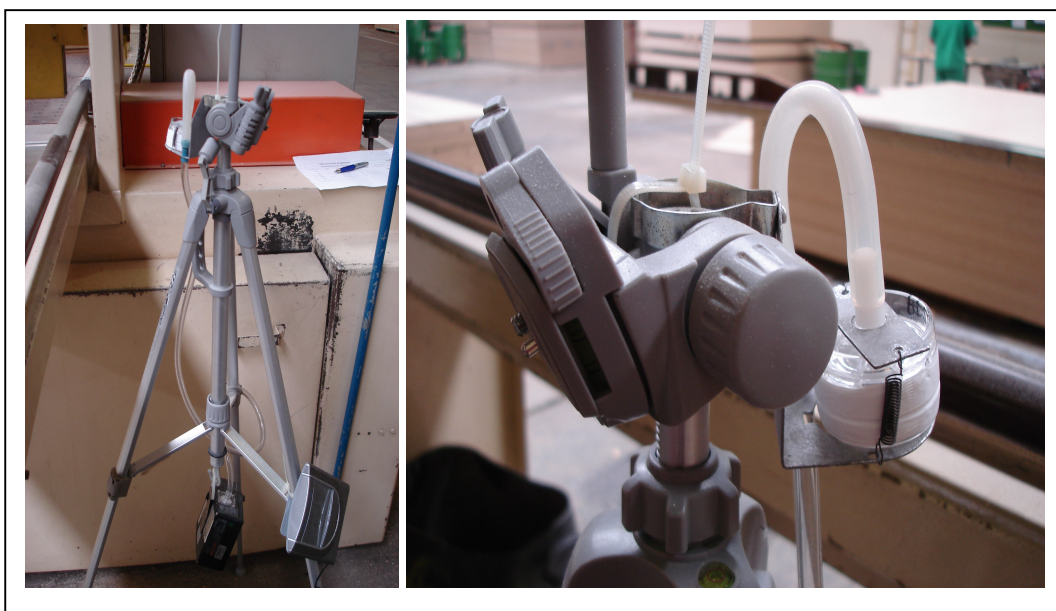


Figura 19: Configuração dos equipamentos para coleta de amostras de poeira total (PT)
(Fonte: A Autora, 2008)

As medições de poeira total foram realizadas no período de 15/10/2007 a 19/10/2007, entre 8:00 e 15:00 h, sendo que o tempo médio de coleta foi de 50 minutos. O tempo de coleta foi estimado visando obter a quantidade de massa necessária para a análise do particulado. Não foram efetuadas medições no sábado

pois seria operacionalmente inviável para a empresa. A codificação utilizada e demarcada nos cassetes para este tipo de coleta teve o prefixo PT (quadro 31), sendo que o número que o segue refere-se à data de coleta e a letra à ordem de coleta das amostras.

CODIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE POEIRA TOTAL (PT)					
	15/10/2007	16/10/2007	17/10/2007	18/10/2007	19/10/2007
Amostra 1	PT1A	PT2A	PT3A	PT4A	PT5A
Amostra 2	PT1B	PT2B	PT3B	PT4B	PT5B
Amostra 3	PT1C	PT2C	PT3C	PT4C	PT5C
Amostra 4	PT1D	PT2D	PT3D	PT4D	PT5D
Amostra 5		PT2E	PT3E	PT4E	PT5E
Amostra 6		PT2F	PT3F		PT5F

Onde:
 prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (A a F) - ordem de coleta.

Quadro 31: Codificação dos cassetes e filtros para amostras de poeira total (PT)
 (Fonte: A Autora, 2008)

Houve uma variação na quantidade de amostras de poeira total coletadas no primeiro e no quarto dia, pois o maquinário precisou de manutenção e ficou parado enquanto esta era executada. Por esta razão, as amostras codificadas como PT2C, PT3C, PT3D e PT3E, não foram consideradas como válidas, pois os painéis aglomerado que foram processados nestas coletas já tinham sido utilizados e estavam sujos e desgastados. Assim sendo, no quadro 32 têm-se a relação dos cassetes e filtros de poeira total (PT) considerados válidos e possíveis de serem utilizados na presente pesquisa.

AMOSTRAS DE POEIRA TOTAL (PT) CONSIDERADAS VÁLIDAS PARA ANÁLISE					
	15/10/2007	16/10/2007	17/10/2007	18/10/2007	19/10/2007
Amostra 1	PT1A	PT2A	PT3A	PT4A	PT5A
Amostra 2	PT1B	PT2B	PT3B	PT4B	PT5B
Amostra 3	PT1C			PT4C	PT5C
Amostra 4	PT1D	PT2D		PT4D	PT5D
Amostra 5		PT2E		PT4E	PT5E
Amostra 6		PT2F	PT3F		PT5F

Onde:
 prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (A a F) - ordem de coleta.

Quadro 32: Relação das amostras de poeira total (PT) consideradas válidas para a análise e caracterização do particulado sólido do aglomerado
 (Fonte: A Autora, 2008)

Para a coleta de amostras de poeira respirável (PR), o cassete com o filtro foi colocado em um dispositivo adaptado ao ciclone de separação de partículas de 10 mm e fixado no tripé de alumínio a 1300 mm do chão, a uma distância de 300 mm do maquinário (figura 20). É importante ressaltar que o sistema de exaustão situado sobre o maquinário estava ligado. O dispositivo do ciclone foi conectado à bomba de amostragem auto-ajustável, com uma vazão de 1,70 l/m.



Figura 20: Configuração dos equipamentos para coleta de amostras de poeira respirável (PR)
 (Fonte: A Autora, 2008)

As medições de poeira respirável foram realizadas no período de 22/10/2007 a 29/10/2007, entre as 8:00 horas e as 15:00 horas, sendo que o tempo de amostragem médio foi de 342 minutos. O tempo de coleta foi estimado visando obter a quantidade de massa necessária para a análise do particulado. No dia 23/10/2007 não foi efetuada nenhuma coleta, pois o maquinário ficou parado, da mesma forma não foi efetuada medição no sábado, pois como já citado anteriormente, era operacionalmente inviável para a empresa. A codificação utilizada e demarcada nos cassetes para este tipo de coleta teve o prefixo PR (quadro 33), acompanhado do número que ordena os dias de coleta das amostras.

CODIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA POEIRA RESPIRÁVEL (PR)				
22/10/2007	24/10/2007	25/10/2007	26/10/2007	29/10/2007
PR1	PR2	PR3	PR4	PR5
Onde: prefixo PR – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira respirável números (1 a 5) - ordenação da data de coleta				

Quadro 33: Codificação dos cassetes e filtros para as amostras de poeira respirável (PR)
(Fonte: A Autora, 2008)

Após cada coleta de particulado sólido, seja de poeira total (PT) ou poeira respirável (PR), procedimentos de dessecação dos filtros por 24 horas foram realizados, para posterior pesagem dos filtros, visando determinar a massa do material amostrado. Estes procedimentos também foram executados no Laboratório de Química da Madeira da UFPR.

Em cada dia de coleta de particulado sólido, tanto de poeira total (PT) como de poeira respirável (PR), também foram coletadas duas amostra de particulado sólido depositado sobre a superfície plana da bancada de trabalho, ou seja, da superfície do maquinário foco do experimento. Este procedimento foi adotado como forma de coleta suplementar do particulado sólido amostrado.

Este material foi coletado em frascos de polipropileno esterilizado, vedados por uma tampa sob efeito de pressão e rosqueamento. As coletas ocorreram por volta das 12:30 horas, antes do retorno dos trabalhadores do horário de almoço, pois desta forma, não havia movimentação ao redor do maquinário e a poeira suspensa

no ar já havia assentado. Após a coleta os frascos com as amostras foram codificados (quadro 34), sendo que o prefixo determinado para os dias de coleta de poeira total foi a letra “A” e para os dias de coleta de poeira respirável foi a letra “R”, seguidos dos número indicativos do dia de coleta, com variação de 1 a 5, e das letras “A” e “B” indicativas de ordenação de primeira e segunda coleta, respectivamente.

Posteriormente os frascos com as amostras foram estabilizados em ambiente climatizado, no Laboratório de Química da Madeira da UFPR, para realização da pesagem do material coletado.

CODIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PARTICULADO SÓLIDO COLETADAS										
Amostra	Dias de coleta de poeira total					Dias de coleta de poeira respirável				
	15/10	16/10	17/10	18/10	19/10	22/10	24/10	25/10	26/10	29/10
1	A1A	A2A	A3A	A4A	A5A	R1A	R2A	R3A	R4A	R5A
2	A1B	A2B	A3B	A4B	A5B	R1B	R2B	R3B	R4B	R5B

Onde:
 prefixo A – amostras coletadas no dia de coleta de poeira total
 prefixo R – amostras coletadas no dia de coleta de poeira respirável
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (A e B) - ordenação de primeira e segunda coleta

Quadro 34: Amostras de particulado coletado sobre a superfície de trabalho
 (Fonte: A Autora, 2008)

3.3.2 Determinação do Tamanho da Partícula

Para visualização do campo microscópico e conseqüente determinação do tamanho das partículas, foi utilizado o microscópio ótico de luz transmitida BX51M, da marca *Olympus* (figura 21), com acessório para luz polarizada. O microscópio possuía câmara de vídeo para aquisição de imagens, da marca Sony, CCD-Iris/RGB. Para a medição das partículas foi utilizado o *software Image-Pro Plus 4.0*, desenvolvido pela *MediaCybernetcs*, que permite o processamento, medida, análise e arquivamento de imagens. Os equipamentos pertencem ao Laboratório de Microscopia, do Departamento de Mecânica (DAMEC), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), sendo que a manutenção e calibração do microscópio

é realizada periodicamente de acordo com procedimentos internos estabelecidos pela Instituição.



Figura 21: Microscópio ótico BX51M utilizado para a medição do tamanho das partículas sólidas
(Fonte: *Olympus Corporation*, 2008)

Apesar do *software Image-Pro Plus 4.0* possibilitar a medição automática das partículas capturadas nas imagens de microscopia ótica, este recurso não foi utilizado devido ao baixo nível de contraste entre a partícula e a malha do filtro de PVC. Desta forma a medição do diâmetro da partícula foi realizada manualmente sendo utilizado como parâmetro de medição o Diâmetro de Feret (df), definido como o comprimento do segmento de reta paralelo ao eixo horizontal da partícula. Sendo que o eixo horizontal da partícula é representado pela medida do segmento de reta que liga dois pontos consecutivos, fixado paralelo ao eixo horizontal do quadro da imagem obtida.

Foram selecionados para análise através da microscopia ótica os filtros de poeira total PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E. Como parâmetro para a escolha destes filtros foi utilizado o horário de coleta, tendo como pressuposto condições ambientais semelhantes. Com relação aos filtros de poeira respirável, foram determinados para análise por microscopia ótica os filtros PR2 e o PR4, do segundo e quarto dias de coleta. Também foram analisados por esta técnica os filtros PT2B e PT5B com coleta de partículas de painel de madeira aglomerada com revestimento BP e FF respectivamente.

A captura das imagens do campo microscópico, sobre o filtro de membrana, ocorreu utilizando uma ampliação de 50 vezes, através de uma varredura horizontal da esquerda para a direita (figura 22), dividindo a zona central do filtro em quinze campos de análise.

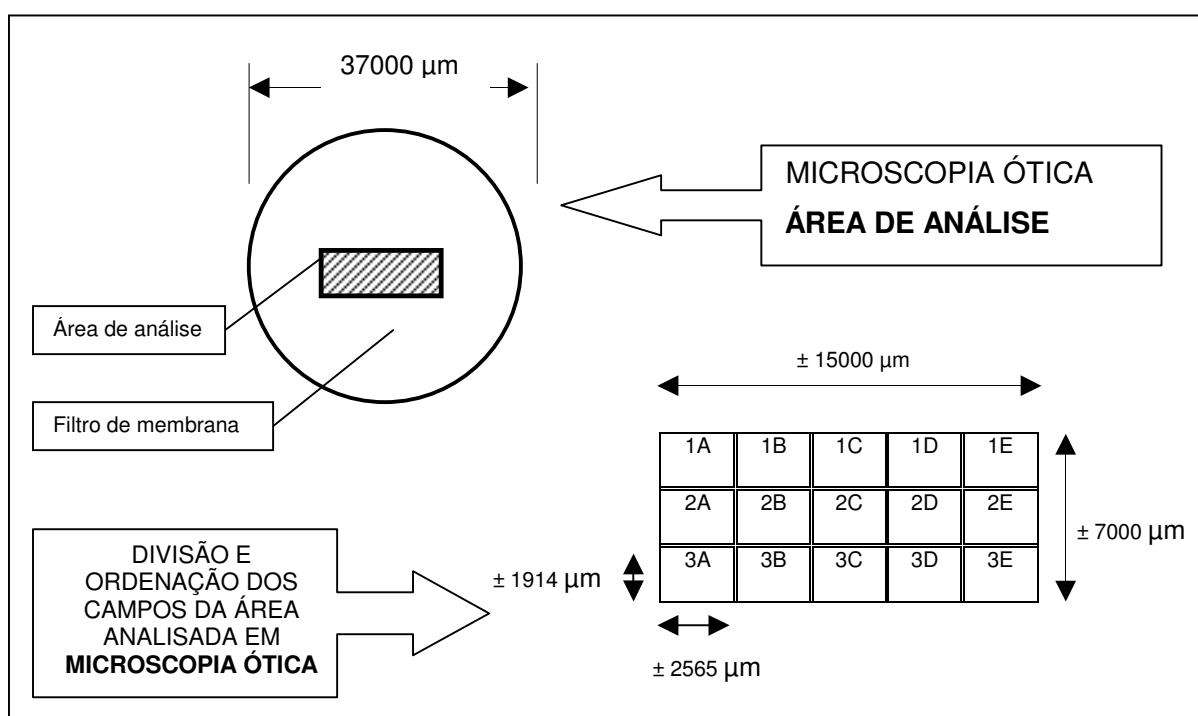


Figura 22: Esquema representativo das áreas dos filtros de PVC analisados através de microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)

Desta forma, a ordenação dos campos microscópicos ocorreu na forma de três linhas e cinco colunas, ou seja, determinou-se os campos de análise 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 3A, 3B, 3C, 3D e 3E. A área total analisada sobre cada filtro de membrana de PVC de 37000 µm de diâmetro, foi de aproximadamente 15000 X 7000 µm, sendo que a dimensão de cada campo analisado foi de aproximadamente 2565 X 1914 µm.

Nas figuras 23 a 30 tem-se as imagens do campo microscópico central (2C) dos filtros de poeira total PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E, respectivamente. Sendo que o prefixo PT indica os filtros de coleta da fração de poeira total, os números de 1 a 5, a ordenação da data de coleta e as letras de A a F correspondem à ordem de coleta. Os filtros foram analisados por microscopia ótica, com ampliação de 50 vezes, obtidas por meio de uma escala micrométrica padrão

do analisador de imagens *Image-Pro Plus 4.0*, tendo como referência na calibração linear 1 *pixel (pictures elements)* igual a 0,54 μm .

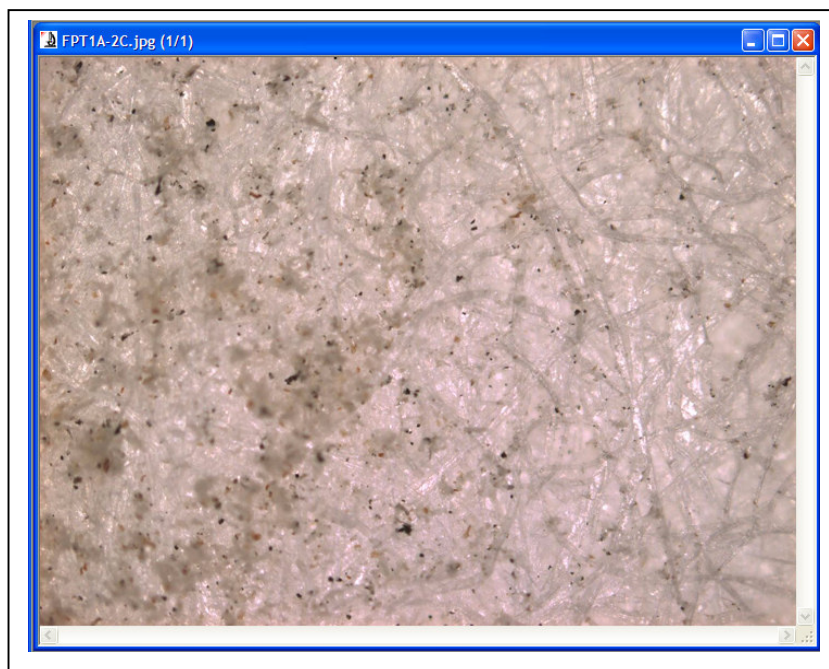


Figura 23: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT1A analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)

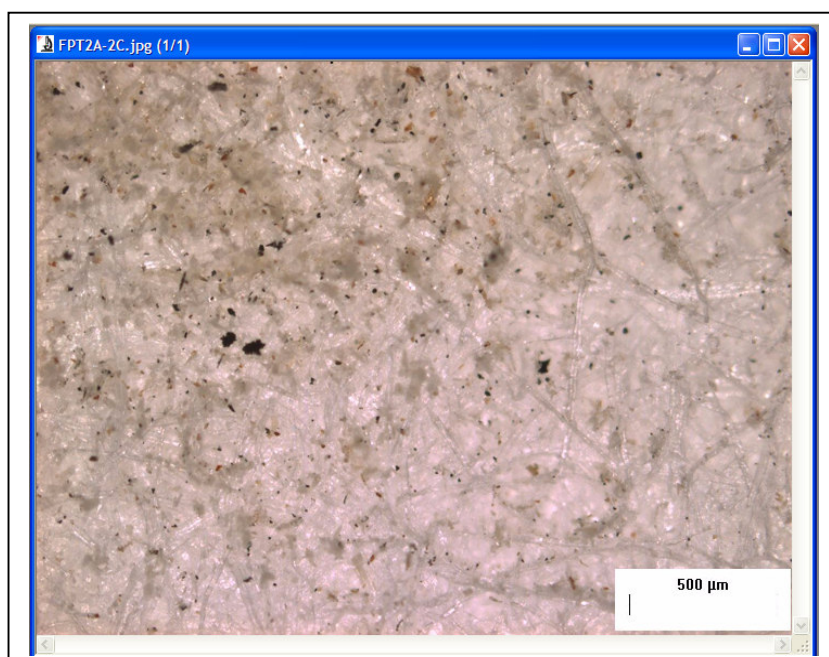


Figura 24: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT2A analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)

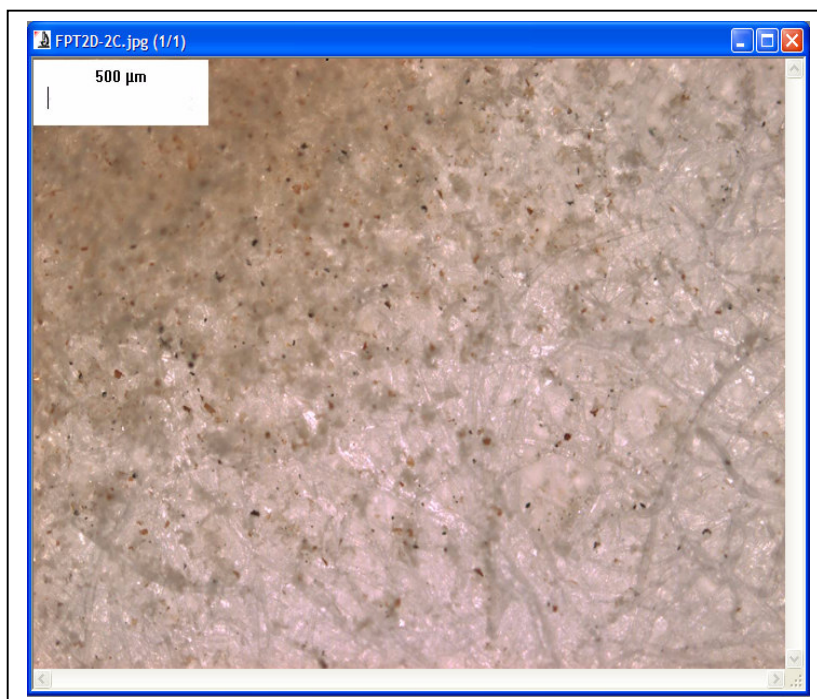


Figura 25: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT2D analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)

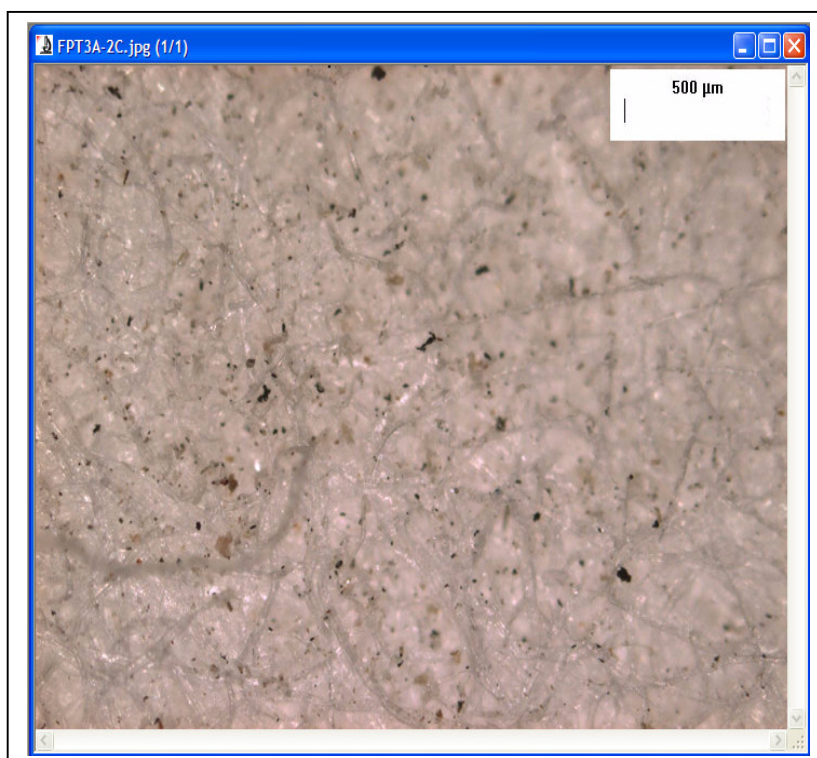


Figura 26: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT3A analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)



Figura 27: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT4A analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)

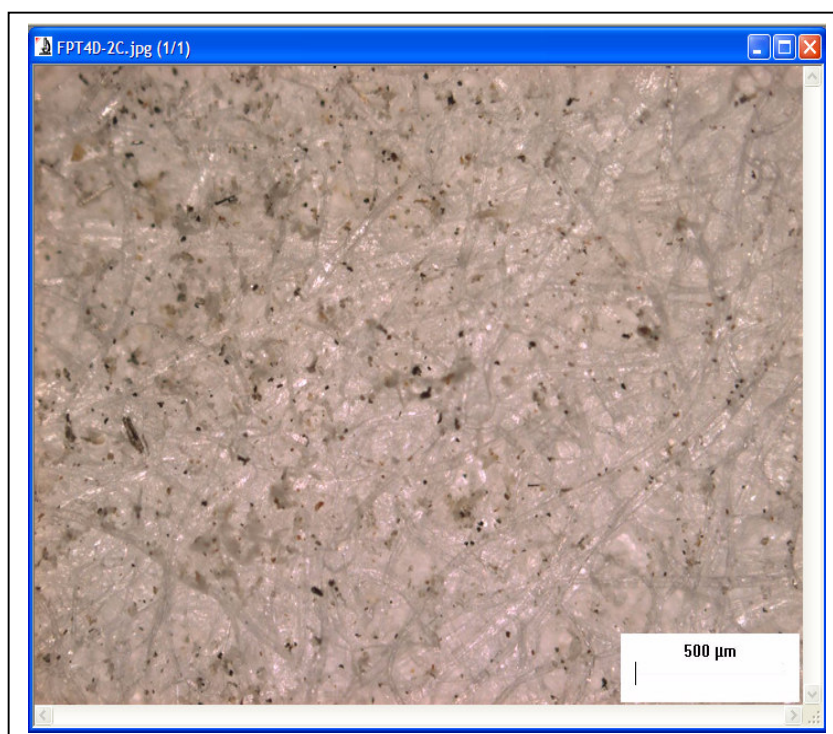


Figura 28: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT4D analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)

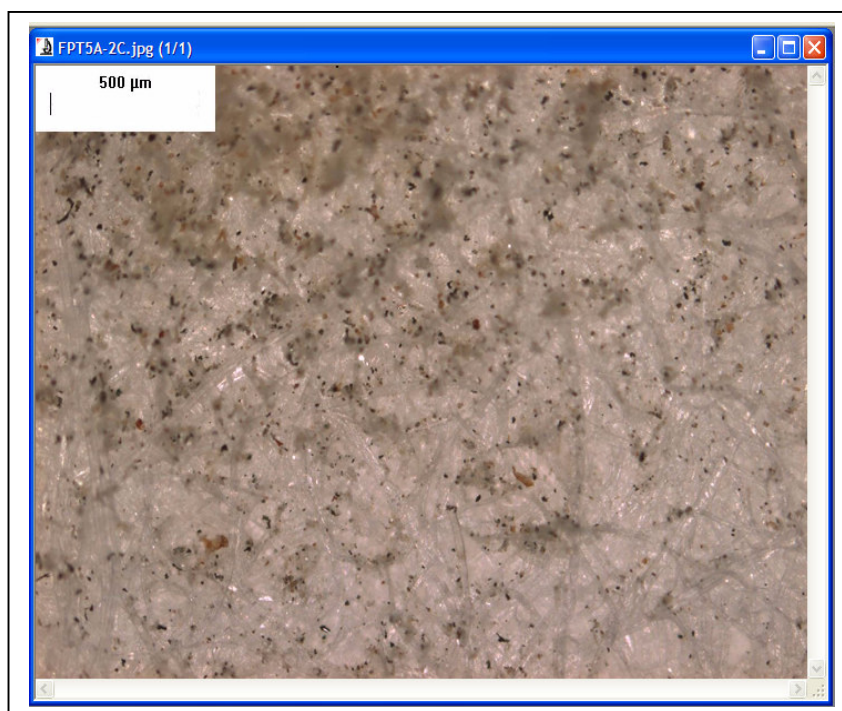


Figura 29: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT5A analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)



Figura 30: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT5E analisado por microscopia ótica
(Fonte: A Autora, 2008)

Da mesma forma, nas figuras 31 e 32 pode-se observar as imagens do campo 2C, obtidas através da microscopia ótica dos filtros de poeira respirável PR2 e o PR4. Sendo que o prefixo PR indica os filtros de coleta da fração de poeira respirável e os números de 1 a 5 a ordenação da data de coleta.



Figura 31: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira respirável PR2 analisado por microscopia ótica (Fonte: A Autora, 2008)

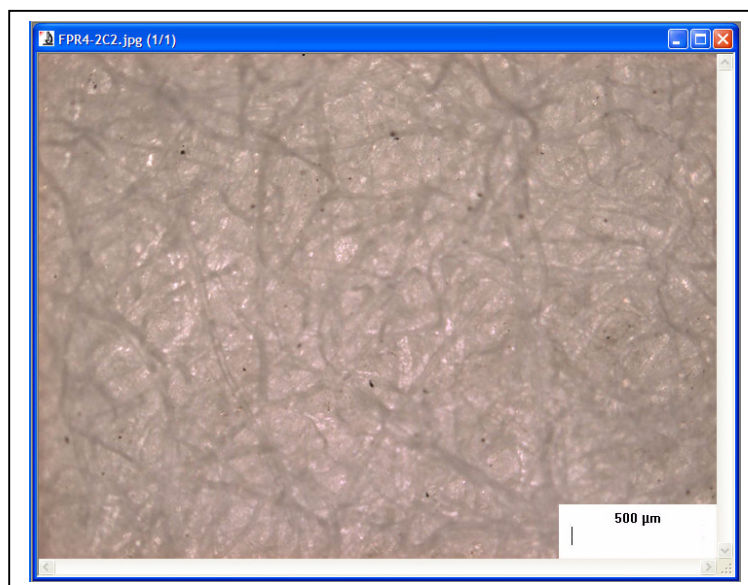


Figura 32: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira respirável PR4 analisado por microscopia ótica (Fonte: A Autora, 2008)

Nas figuras 33 e 34 tem-se as imagens dos filtros de poeira total PT2B e PT5B, respectivamente, contendo particulado coletado de painéis de madeira aglomerada com revestimento melamínico de baixa pressão (BP) e *finish foil* (FF).

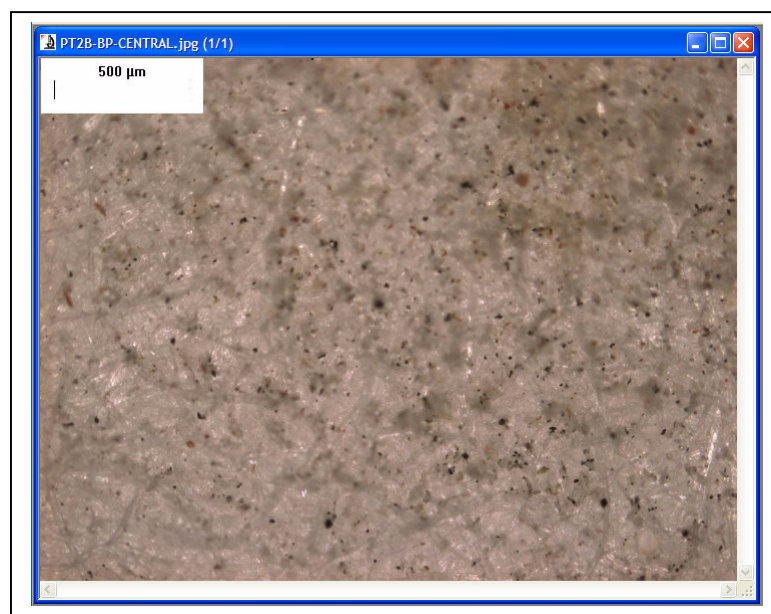


Figura 33: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT2B com particulado de painéis aglomerado com revestimento BP analisado por microscopia ótica (Fonte: A Autora, 2008)



Figura 34: Imagem do campo microscópico central (2C) do filtro de poeira total PT5B com particulado de painéis aglomerado com revestimento FF analisado por microscopia ótica (Fonte: A Autora, 2008)

A análise do tamanho da partícula também foi realizada através da microscopia eletrônica, fato que permitiu uma análise mais detalhada da topografia das partículas e a medição de partículas com diâmetros menores que 1 μm . O aparelho utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo FEI Quanta 200 ambiental (baixo vácuo), equipado com espectrômetro de energia dispersiva (EDS) Oxford modelo 6427, com resolução de 137 eV (figura 35), pertencente a um laboratório de pesquisa credenciado pela UFPR.



Figura 35: Microscópio eletrônico de varredura (MEV) utilizado para a medição
(Fonte: A Autora, 2008)

Foram selecionados para análise por microscopia eletrônica, os filtros de poeira total PT1B, PT1D, PT2F, PT3F, PT4B, PT4E, PT5C e PT5F. Como parâmetro para a escolha destes filtros foi utilizado o horário de coleta, pressupondo condições ambientais semelhantes; com relação à poeira respirável, foi determinado aleatoriamente, para medição por microscopia eletrônica, o filtro PR3 correspondente ao terceiro dia de coleta.

O campo microscópico analisado por microscopia eletrônica correspondeu à área central do filtro (figura 36), com dimensão aproximada de 260 X 220 μm , sendo que a dimensão de cada campo de análise foi de aproximadamente 51 X 44 μm . A ordenação do campo microscópico ocorreu na forma de 5 linhas e 5 colunas, com uma varredura no sentido vertical, obtendo as imagens numeradas de 001 a 025.

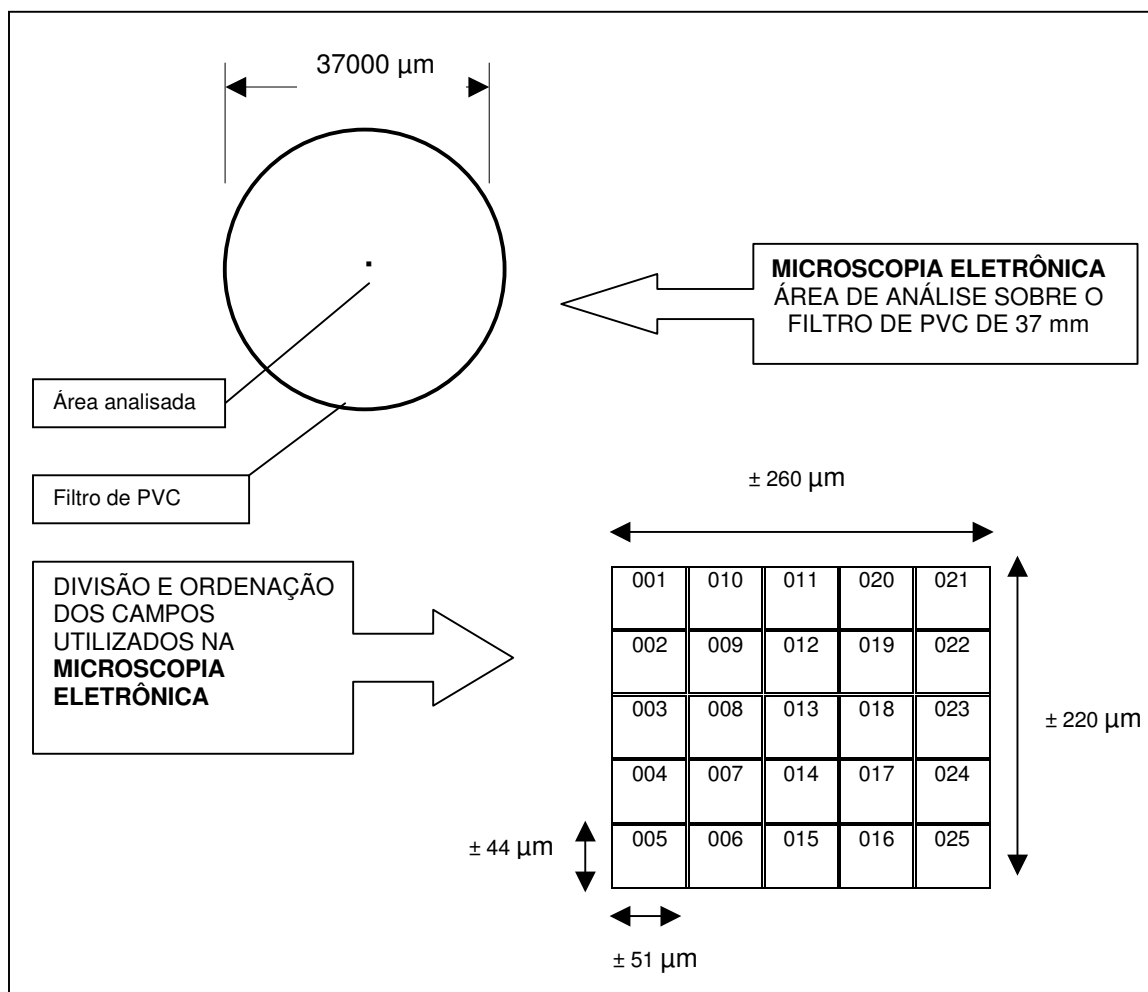


Figura 36: Esquema representativo da área central dos filtros de PVC analisados através de microscopia eletrônica (Fonte: A Autora, 2008)

As imagens do campo microscópico foram capturadas a uma ampliação de 500 vezes e analisadas através do *software Image-Pro Plus 4.0*, desenvolvido pela *MediaCybernetcs*. O diâmetro das partículas foram medidos manualmente através das imagens capturadas por microscopia eletrônica, devido ao baixo nível de contraste obtido na imagem, entre as partículas e a malha do filtro de membrana.

Nas figuras 37 a 45 têm-se as imagens do campo microscópico central dos filtros de poeira total PT1B, PT1D, PT2F, PT3F, PT4B, PT4E, PT5C, PT5F e do filtro de poeira respirável PR3 analisados por microscopia eletrônica. As imagens foram obtidas por meio de uma escala micrométrica padrão do analisador de imagens *Image-Pro Plus 4.0*, tendo como referência para poeira total (PT) uma ampliação de 500 vezes e uma calibração linear onde 1 *pixel* é igual a 1,98 µm; e para poeira

respirável (PR) uma ampliação de 5000 vezes e uma calibração linear onde 1 *pixel* é igual a 19,75 μ m.

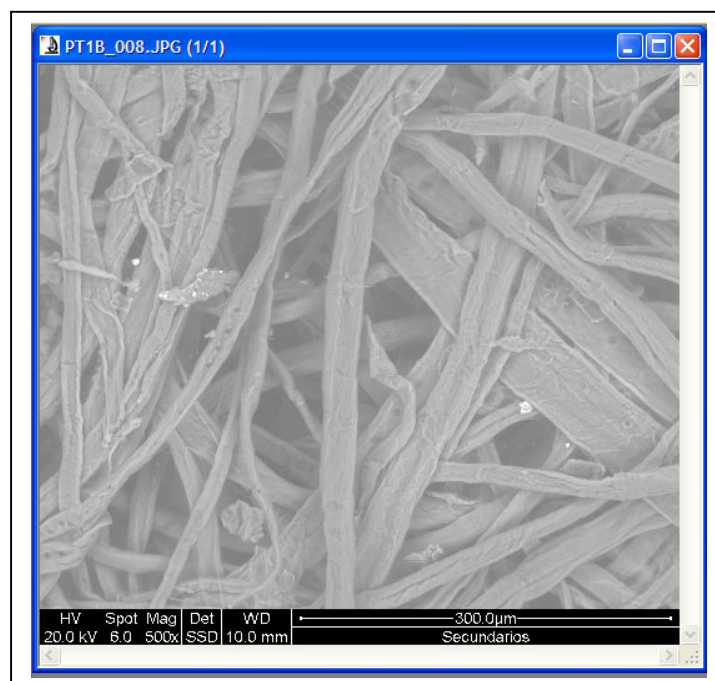


Figura 37: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT1B analisado por microscopia eletrônica (Fonte: A Autora, 2008)

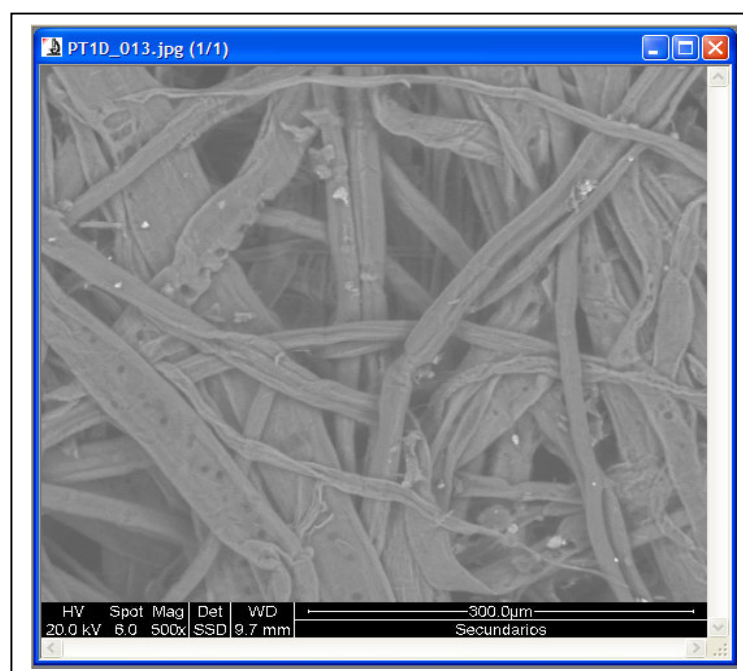


Figura 38: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT1D analisado por microscopia eletrônica (Fonte: A Autora, 2008)

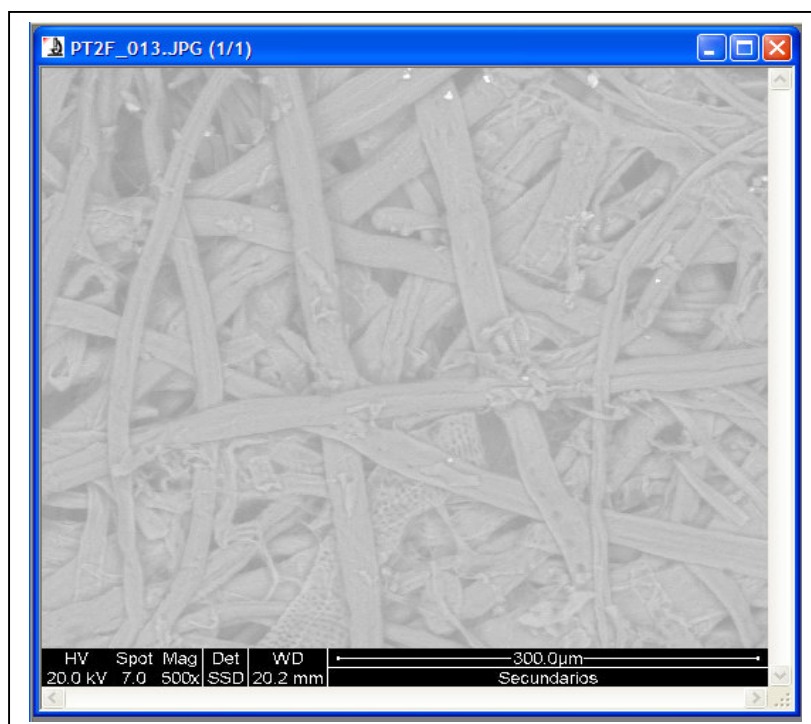


Figura 39: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT2F analisado por microscopia eletrônica
(Fonte: A Autora, 2008)

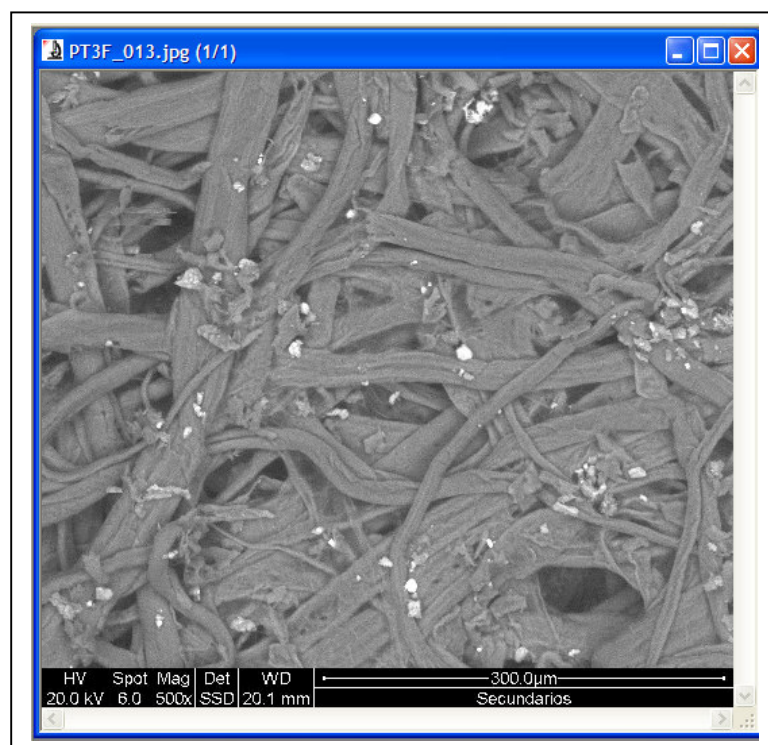


Figura 40: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT3F analisado por microscopia eletrônica
(Fonte: A Autora, 2008)

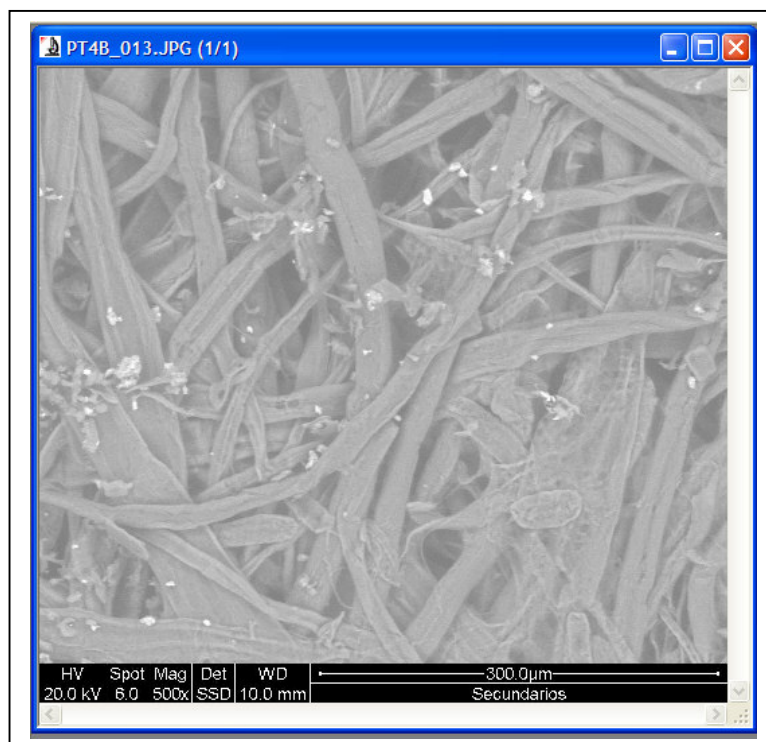


Figura 41: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT4B analisado por microscopia eletrônica (Fonte: A Autora, 2008)

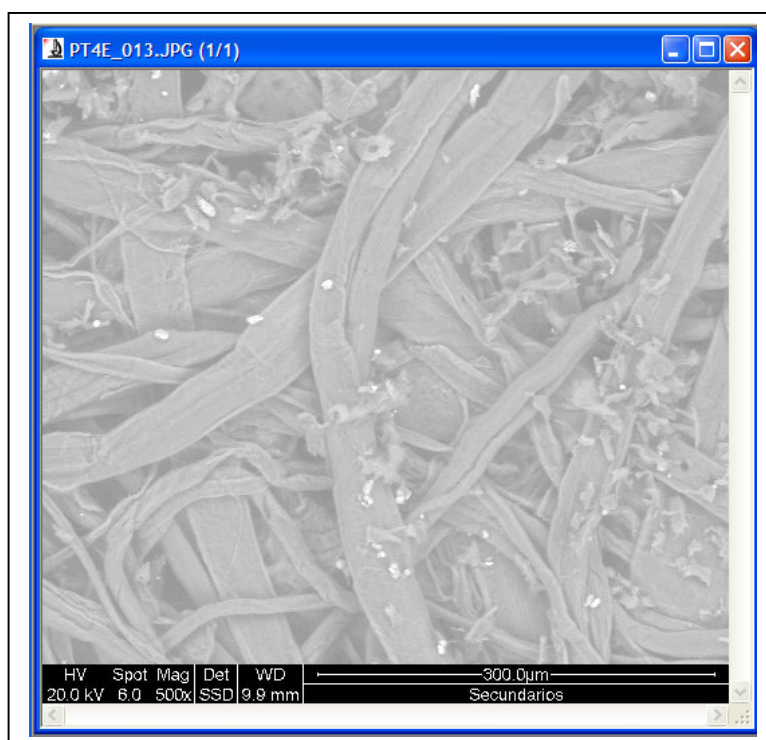


Figura 42: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT4E analisado por microscopia eletrônica (Fonte: A Autora, 2008)

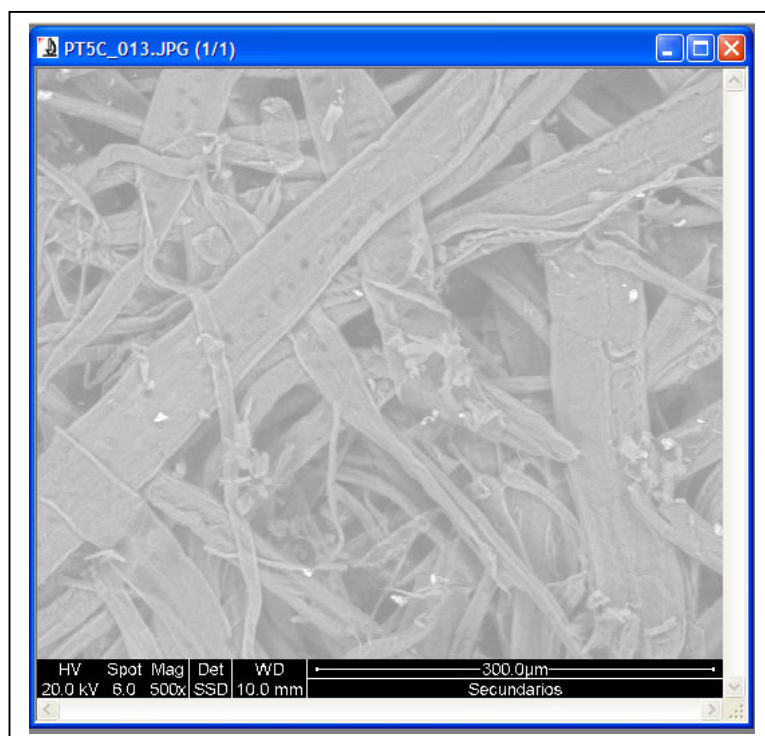


Figura 43: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT5C analisado por microscopia eletrônica
(Fonte: A Autora, 2008)



Figura 44: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira total PT5F analisado por microscopia eletrônica
(Fonte: A Autora, 2008)



Figura 45: Imagem do campo microscópico central do filtro de poeira respirável PR3 analisado por microscopia eletrônica
(Fonte: A Autora, 2008)

Para a medição do diâmetro das partículas, através das duas técnicas, seja por microscopia ótica ou microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi tomado como padrão a medição apenas das partículas contidas inteiramente dentro do campo microscópico (figura 46), desta maneira partículas que tangenciam as arestas externas da imagem não foram consideradas.

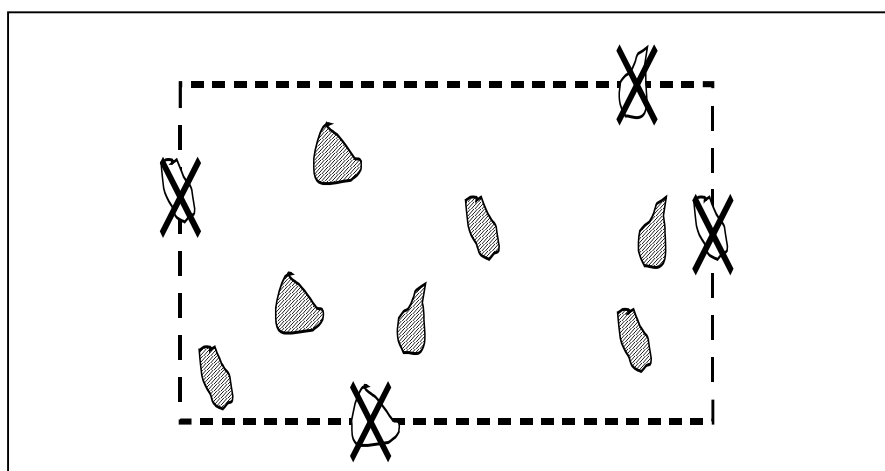


Figura 46: Esquema de medição apenas das partículas sólidas contidas dentro do campo microscópico
(Fonte: A Autora, 2008)

Assim sendo, a figura 47 demonstra a proporcionalidade do tamanho dos campos microscópios analisados por microscopia ótica e do campo microscópio analisado por microscopia eletrônica. É importante ressaltar que a ampliação do campo microscópico obtida através da microscopia eletrônica é 10 vezes maior para poeira total e 100 vezes maior para poeira respirável do que a ampliação obtida por microscopia ótica.

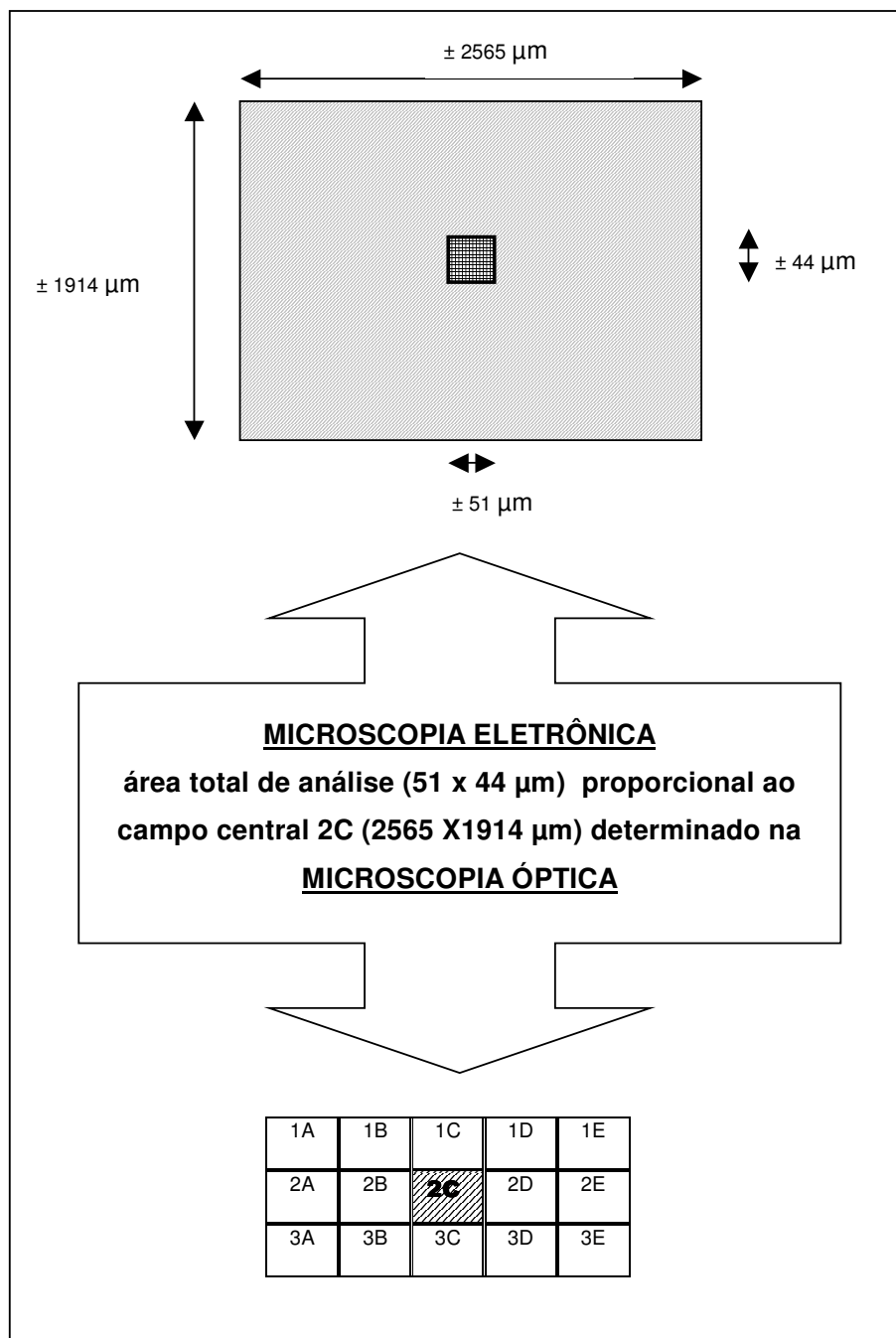


Figura 47: Esquema comparativo do tamanho dos campos microscópios obtidos através de microscopia ótica e microscopia eletrônica
 (Fonte: A Autora, 2008)

3.3.3 Análise Química das Partículas

Algumas partículas de poeira total, coletadas sobre os filtros de membrana submetidos à microscopia eletrônica, também foram analisadas através de um espectrômetro de energia dispersiva (EDS) acoplado ao MEV. Este método buscou detectar quais os elementos químicos que compõe as partículas sólidas coletadas. Entretanto é importante ressaltar que por este método foram detectados apenas os elementos químicos componentes dos extrativos da madeira e da resina utilizada na composição do painel, pois os elementos básicos que compõe a madeira possuem baixa massa molecular e são de difícil quantificação por EDS.

Para atender às necessidades neste sentido, fez-se a análise química por EDS de apenas algumas partículas de poeira total coletadas sobre o filtro de membrana de PVC. As 25 partículas analisadas (quadro 35) foram escolhidas de forma aleatória e representam uma amostra não-probabilística de toda a população de partículas coletadas.

ANÁLISE POR EDS DOS FILTROS DE POEIRA TOTAL			
Filtro de poeira total	Campos de análise		
PT1B	003	004	
PT1D	027	028	029
PT2F	021	022	023
PT3F	021	022	024
PT4B	021	022	023
PT4E	019	023	
PT5C	022	023	024
PT5F	022	023	024

Onde:
 prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (B a F) - ordem de coleta

Quadro 35: Campos microscópicos dos filtros de poeira total (PT) analisados por espectrômetro de energia dispersiva (EDS)
 (Fonte: A Autora, 2008)

3.3.4 Análise Química do Material Amostrado

Foi efetuada análise química do particulado sólido coletado, buscando determinar a toxicidade do material caracterizada segundo dois tipos de substâncias: sílica livre cristalina e formaldeído.

A análise da sílica cristalina ocorreu de duas formas: por meio de amostras de poeira total (PT) e poeira respirável (PR) coletadas pela bomba de amostragem, sobre o filtro de membrana de PVC de 37 mm de diâmetro; e por meio de amostras de material particulado sólido depositado sobre a bancada de trabalho e coletados nos frascos de polipropileno. Foi utilizada como técnica de análise da sílica livre cristalina a espectrofotometria na região do infravermelho, tomando como base o método de ensaio NMAM 7602 (NIOSH, 2003). A análise do formaldeído ocorreu nas amostras coletadas nos frascos de polipropileno e a técnica de análise foi a cromatografia líquida de alto desempenho, tomando como base a NMAM 2016 (NIOSH, 2003).

Os filtros utilizados para análise da sílica cristalina foram escolhidos de forma aleatória, sendo três exemplares de poeira total, ou seja, os filtros PT1C, PT2F e PT5D e um de poeira respirável, o filtro PR1. Quanto às amostras de poeira contida nos frascos, foi selecionado um de cada dia de coleta de poeira total, ou seja as amostras A1B, A2B, A3B, A4B e A5B; e como existia uma quantidade relativamente grande de material coletado, a amostra foi dividida em duas partes, uma para análise da sílica livre cristalina e outra para análise do formaldeído. Estas análises foram feitas pelo Laboratório de Análises Toxicológicas e Ambientais Ltda. (LATAM), situado em Curitiba/Paraná, conforme os laudos 5962/07, 5963/07 e 5964/07 (apêndices A, B e C) emitidos pela empresa.

3.3.5 Métodos de análise

Efetuados os procedimentos de análises descritos nos itens anteriores, os dados obtidos foram submetidos aos métodos de análise padronizados para aerodispersóide sólido, descritos no item 2.4.5. Os resultados obtidos serão descritos no próximo capítulo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MASSA DO PARTICULADO SÓLIDO COLETADO SOBRE FILTRO DE MEMBRANA

Nas tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 são apresentados os dados coletados referentes à vazão da bomba de amostragem, temperatura e umidade relativa do ar, tempo de amostragem e massa de particulado corrigida, referentes aos cinco dias de coleta de poeira total. Os painéis seccionados no decorrer da amostragem em sua maioria se apresentavam *in natura*, com exceção para os painéis processados na segunda amostragem do segundo (PT2B) e do quinto dia de coleta (PT5B) que possuíam acabamento melamínico (BP) e *finish foil* (FF), respectivamente. Como resultado complementar à pesquisa, os dados obtidos nas análises das amostras de painel aglomerado com acabamento BP e FF serão comparados com os dados obtidos nas análises das amostras dos painéis *in natura*, verificando se existe alguma diferenciação nos resultados.

Tabela 1: Dados referentes ao primeiro dia de coleta de poeira total (PT)

DADOS DO PRIMEIRO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT)								
Tipo de coleta: POEIRA TOTAL								
Condições climáticas externas: manhã e tarde nublados com garoa leve							Data: 15/10/07	
Código do filtro	Vazão da bomba (l/min)	Temperatura interna *		Umidade interna* (%)		Tempo de amostragem (min)	Massa corrigida (mg)	Espessura do painel seccionado (mm)
		min	max	min	max			
PT1A	2,00	21,4	21,4	60	66	65	2,0	15
PT1B	2,00	20,9	21,3	61	63	65	1,9	15
PT1C	2,00	21,8	22,9	59	62	65	1,7	15
PT1D	2,00	22,5	23,0	58	60	45	1,6	15

Onde:

prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total

número (1) - ordenação da data de coleta

letras (A a D) - ordem de coleta

* temperatura e umidade relativa do ar da área interna da indústria em que se coletaram os dados

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 2: Dados referentes ao segundo dia de coleta de poeira total (PT)

DADOS DO SEGUNDO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT)								
Tipo de coleta: POEIRA TOTAL								
Condições climáticas externas: manhã: nublado / tarde: sol							Data: 16/10/07	
Código do filtro	Vazão da bomba (l/min)	Temperatura interna* (°C)		Umidade interna* (%)		Tempo de amostragem (min)	Massa corrigida (mg)	Espessura do painel seccionado (mm)
		min	max	min	max			
PT2A	2,00	20,6	21,1	65	67	50	2,1	25
PT2B	2,00	21,3	21,9	66	67	45	2,0	20 (BP)
PT2C	2,00	21,9	22,6	65	67	45	1,8	15 e 25
PT2D	2,00	22,9	23,9	63	66	46	1,8	15 e 18
PT2E	2,00	23,9	25,6	62	65	50	1,4	15
PT2F	2,00	25,6	25,9	61	62	44	1,5	15

Onde:

prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total

número (2) - ordenação da data de coleta

letras (A a F) - ordem de coleta

* temperatura e umidade relativa do ar da área interna da indústria em que se coletaram os dados

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 3: Dados referentes ao terceiro dia de coleta de poeira total (PT)

DADOS DO TERCEIRO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT)								
Tipo de coleta: POEIRA TOTAL								
Condições climáticas externas: dia ensolarado / 31°C							Data: 17/10/07	
Código do filtro	Vazão da bomba (l/min)	Temperatura interna* (°C)		Umidade interna* (%)		Tempo de amostragem (min)	Massa corrigida (mg)	Espessura do painel seccionado (mm)
		min	max	min	max			
PT3A	2,00	18,9	20,9	59	70	50	2,0	15
PT3B	2,00	19,1	20,9	55	70	48	1,8	12 e 15
PT3F	2,00	24,6	27,3	32	43	45	0,7	15

Onde:

prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total

número (3) - ordenação da data de coleta

letras (A, B e F) - ordem de coleta

* temperatura e umidade relativa do ar da área interna da indústria em que se coletaram os dados

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 4: Dados referentes ao quarto dia de coleta de poeira total (PT)

DADOS DO QUARTO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT)								
Tipo de coleta: POEIRA TOTAL							Data: 18/10/07	
Condições climáticas externas: manhã: nublado / tarde: sol								
Código do filtro	Vazão da bomba (l/min)	Temperatura interna* (°C)		Umidade interna* (%)		Tempo de amostragem (min)	Massa corrigida (mg)	Espessura do painel seccionado (mm)
		min	max	min	max			
PT4A	2,00	20,1	20,9	51	53	47	1,8	15
PT4B	2,00	19,5	20,9	53	53	46	1,8	15
PT4C	2,00	19,5	21,0	52	53	50	1,8	15
PT4D	2,00	20,6	22,3	50	52	50	1,6	10 e 15
PT4E	2,00	20,6	23,1	48	54	50	1,6	12

Onde:

prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total

número (4) - ordenação da data de coleta

letras (A a E) - ordem de coleta

* temperatura e umidade relativa do ar da área interna da indústria em que se coletaram os dados

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 5: Dados referentes ao quinto dia de coleta de poeira total (PT)

DADOS DO QUINTO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT)								
Tipo de coleta: POEIRA TOTAL							Data: 19/10/07	
Condições climáticas externas: manhã: nublado / tarde: sol								
Código do filtro	Vazão da bomba (l/min)	Temperatura interna* (°C)		Umidade interna* (%)		Tempo de amostragem (min)	Massa corrigida (mg)	Espessura do painel seccionado (mm)
		min	max	min	max			
PT5A	2,00	20,3	21,5	57	62	52	1,3	15
PT5B	2,00	21,9	22,1	53	56	49	1,2	15 (FF)
PT5C	2,00	22,3	22,6	51	54	48	1,3	15
PT5D	2,00	22,6	24,6	46	51	54	1,5	15
PT5E	2,00	24,9	26,5	43	48	45	1,3	15
PT5F	2,00	26,8	27,6	41	50	46	1,1	15

Onde:

prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total

número (5) - ordenação da data de coleta

letras (A a F) - ordem de coleta

* temperatura e umidade relativa do ar da área interna da indústria em que se coletaram os dados

(Fonte: A Autora, 2008)

Na tabela 6 são apresentados os dados coletados referentes à vazão da bomba de amostragem, temperatura e umidade relativa do ar, tempo de amostragem e massa de particulado corrigida, referente aos cinco dias de coleta de poeira respirável.

Tabela 6: Dados referentes a coleta de poeira respirável (PR)

DADOS DOS DIAS DE COLETA DE POEIRA RESPIRÁVEL (PR)									
Tipo de coleta: POEIRA RESPIRÁVEL									
Data	Código do filtro	Vazão da bomba (l/min)	Temperatura interna* (°C)		Umidade interna* (%)		Tempo de amostragem (min)	Massa corrigida (mg)	Espessura do painel seccionado (mm)
			min	max	min	max			
22/10/2007	PR1	1,70	21,3	24,1	51	68	300	1,1	12 / 15
24/10/2007	PR2	1,70	19,1	20,4	56	66	319	1,5	10;15;20 e 25
25/10/2007	PR3	1,70	19,1	24,4	52	69	355	1,8	15
26/10/2007	PR4	1,70	20,9	29,6	41	69	376	1,5	15
29/10/2007	PR5	1,70	23,3	31,4	50	69	361	1,3	15

Onde:
 prefixo PR – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira respirável
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 * temperatura e umidade relativa do ar da área interna da indústria em que se coletaram os dados

(Fonte: A Autora, 2008)

O comprimento da linha de corte dos painéis processados variou entre 1850 e 2240 mm e a espessura dos painéis seccionados apresentaram certa regularidade, sendo que a espessura de maior ocorrência foi a de 15 mm. Os valores da massa corrigida apresentados tanto para poeira total (PT) como para poeira respirável (PR) foram calculados de acordo com as normas regulamentadoras NHO 03 (FUNDACENTRO, 2001) e PV 2121 (OSHA, 2003), descritas no item 2.4.5.2, análise gravimétrica.

4.2 PARTICULADO SÓLIDO COLETADO SOBRE A SUPERFÍCIE DE TRABALHO

Na tabela 7 são apresentados os valores obtidos na pesagem do particulado coletado sobre a bancada de trabalho em frascos de polipropileno esterilizados. Antes da pesagem o material coletado ficou por 48 horas em ambiente climatizado,

do Laboratório de Química da Madeira da UFPR, para estabilização do teor de umidade.

Tabela 7: Dados referentes ao particulado sólido coletado sobre a superfície de trabalho

AMOSTRAS COLETADAS SOBRE A SUPERFÍCIE DE TRABALHO			
Data	Código da amostra	Peso do material coletado (mg)	Espessura do painel seccionado (mm)
15/10/2007	A1A	2211,6	15
	A1B	2430,2	15
16/10/2007	A2A	2454,6	15; 18; 20 e 25
	A2B	1886,3	15; 18; 20 e 25
17/10/2007	A3A	2018,9	12 e 15
	A3B	2352,5	12 e 15
18/10/2007	A4A	1934,6	8; 12 e 15
	A4B	1693,1	8; 12 e 15
19/10/2007	A5A	1462,8	15
	A5B	1765,0	15
22/10/2007	R1A	1478,4	12 e 15
	R1B	1657,3	12 e 15
24/10/2007	R2A	1518,7	10; 15; 20 e 25
	R2B	1118,8	10; 15; 20 e 25
25/10/2007	R3A	1908,9	15
	R3B	2174,7	15
26/10/2007	R4A	2206,1	15
	R4B	1104,2	15
29/10/2007	R5A	1870,7	15
	R5B	2442,4	15

Onde:
 prefixo A – amostras coletadas no dia de coleta de poeira total
 prefixo R – amostras coletadas no dia de coleta de poeira respirável
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (A e B) - ordenação de primeira e segunda coleta

(Fonte: A Autora, 2008)

O material coletado sobre a superfície do maquinário foi destinado especificamente para as análises químicas, pois caso fosse utilizado o método de

retirada do particulado depositado sobre o filtro de membrana, poderiam ocorrer mudanças morfológicas no material a ser analisado, de acordo com os itens 2.4.5.4 e 2.4.5.5 deste trabalho.

4.3 QUANTIDADE DE PARTÍCULAS MEDIDAS

Nas tabelas 8 e 9 são apresentadas as quantidades de partículas observadas e medidas sobre cada filtro de poeira total (PT) e poeira respirável (PR) respectivamente, analisadas através do método de microscopia ótica. Estes procedimentos foram realizados segundo critérios estabelecidos pela ASTM E112-96 (2004) e ASTM E1382-97(2004). Entretanto, vale salientar que a diferença na quantidade de partículas medidas em cada filtro foi decorrente da variação do local de deposição das partículas sobre o filtro de membrana, considerada como uma variável independente.

Tabela 8: Número de partículas de poeira total medidas por microscopia ótica

NÚMERO DE PARTÍCULAS DE POEIRA TOTAL (PT) MEDIDAS POR MICROSCOPIA ÓTICA	
Código do filtro	Quantidade de partículas medidas (n)
PT1A	1.577
PT2A	2.268
PT2D	1.318
PT3A	2.286
PT4A	3.078
PT4D	1.692
PT5A	3.291
PT5E	2.223
Total de partículas de poeira total (PT) medidas	17.733

Onde:
 prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (A, D e E) - ordem de coleta

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 9: Número de partículas de poeira respirável medidas por microscopia ótica

NÚMERO DE PARTÍCULAS DE POEIRA RESPIRÁVEL (PR) MEDIDAS POR MICROSCOPIA ÓTICA	
Código do filtro	Quantidade de partículas medidas (n)
PR2	2.337
PR4	1.340
Total de partículas de poeira respirável (PR) medidas	3.677

Onde:
 prefixo PR – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira respirável
 números (2 e 4) - ordenação da data de coleta

(Fonte: A Autora, 2008)

Nas tabelas 10 e 11 constam as quantidade de partículas observadas e posteriormente analisadas sobre os filtros de poeira total (PT) e poeira respirável (PR), através da microscopia eletrônica.

Tabela 10: Número de partículas de poeira total medidas por microscopia eletrônica

NÚMERO DE PARTÍCULAS DE POEIRA TOTAL (PT) MEDIDAS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA	
Código do filtro	Quantidade de partículas medidas (n)
PT1B	280
PT1D	1.250
PT2F	1.009
PT3F	2.487
PT4B	1.357
PT4E	2.275
PT5C	2.250
PT5F	1.753
Total de partículas de poeira total (PT) medidas	12.652

Onde:
 prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (B a F) - ordem de coleta

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 11: Número de partículas de poeira respirável medidas por microscopia eletrônica

NÚMERO DE PARTÍCULAS DE POEIRA RESPIRÁVEL (PR) MEDIDAS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA	
Código do filtro	Quantidade de partículas medidas (n)
PR3	156
Total de partículas de poeira respirável (PR) medidas	156

Onde:
 prefixo PR – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira respirável
 número (3) - ordenação da data de coleta (3° dia de coleta)

(Fonte: A Autora, 2008)

As partículas medidas através da microscopia ótica (MO) e da microscopia eletrônica (MEV), situavam-se na região central dos filtros de membrana e foram escolhidas de forma aleatória, determinando uma amostra não-probabilística da população total de partículas sobre o filtro, sendo que a técnica de medição está descrita no item 3.3.2.

4.4 CONCENTRAÇÃO DO PARTICULADO SÓLIDO

A tabela 12 apresenta o resultado do cálculo da concentração de partículas de poeira total (PT), coletadas sobre o filtro de membrana, nos cinco dias de coleta. Esse valores representam a quantidade de massa de aerodispersóide sólido, proveniente do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada, em suspensão no local de trabalho analisado e foram calculadas de acordo com a critérios estabelecidos pela NIOSH (1994) descrito no quadro 21.

Tabela 12: Concentração de partículas de poeira total sobre o filtro de membrana

CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS DE POEIRA TOTAL (PT)			
Código do filtro	Massa coletada m_c (mg)	Volume amostrado V_a (m ³)	Concentração de partículas coletadas C_p (mg/m ³)
PT1A	2,0	0,130	15,3846
PT1B	1,9	0,130	14,6115
PT1C	1,7	0,130	13,0769
PT1D	1,6	0,090	17,7777
Média do 1º dia de coleta de PT = C_{mPT}			15,2127
PT2A	2,1	0,100	21,0000
PT2B	2,0	0,090	22,2222
PT2C	1,8	0,090	20,0000
PT2D	1,8	0,092	19,5652
PT2E	1,4	0,100	14,0000
PT2F	1,5	0,088	17,0454
Média do 2º dia de coleta de PT = C_{mPT}			18,9721
PT3A	2,0	0,100	20,0000
PT3B	1,8	0,096	18,7500
PT3F	0,7	0,090	7,7778
Média do 3º dia de coleta de PT = C_{mPT}			15,5093
PT4A	1,8	0,094	19,1489
PT4B	1,8	0,092	19,5652
PT4C	1,8	0,100	18,0000
PT4D	1,6	0,100	16,0000
PT4E	1,6	0,100	16,0000
Média do 4º dia de coleta de PT = C_{mPT}			17,7428
PT5A	1,3	0,104	12,5000
PT5B	1,2	0,098	12,2449
PT5C	1,3	0,096	13,5416
PT5D	1,5	0,108	13,8889
PT5E	1,3	0,090	14,4444
PT5F	1,1	0,092	11,9656
Média do 5º dia de coleta de PT = C_{mpPT}			13,0976
Valor médio dos cinco dias de coleta de PT = C_{mT}			16,1069
Desvio padrão			2,2966

Onde: prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 números (1 a 5) - ordenação da data de coleta
 letras (A a F) - ordem de coleta
 C_{mPT} - concentração média de partículas de poeira total por dia de coleta
 C_{mT} - concentração média dos cinco dias de coleta de partículas de poeira total

(Fonte: A Autora, 2008)

Na tabela 13 tem-se o resultado do cálculo da concentração de partículas de poeira respirável (PR) que passaram através do ciclone seletor de partículas e foram coletadas sobre o filtro de membrana. Esses valores representam a

quantidade de massa de aerodispersóide sólido coletada, proveniente do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada e que podem penetrar nos pulmões dos trabalhadores ao serem inaladas durante a atividade de trabalho.

Tabela 13: Concentração de partículas de poeira respirável (PR) coletadas sobre o filtro de membrana

CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS DE POEIRA RESPIRÁVEL (PR)			
Código do filtro	Massa coletada m_c (mg)	Volume amostrado V_a (m ³)	Concentração de partículas coletadas C_p (mg/m ³)
PR1	1,1	0,5100	2,1569
PR2	1,5	0,5423	2,7660
PR3	1,8	0,6035	2,9826
PR4	1,5	0,6392	2,3467
PR5	1,3	0,6137	2,1182
Média dos dias de coleta de PR = C_{mPR}			2,4741
Desvio padrão			0,3832

Onde:

prefixo PR – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira respirável

números (1 a 5) - ordenação da data de coleta

C_{mPR} = concentração média de partículas de poeira respirável dos cinco dias de coleta

(Fonte: A Autora, 2008)

Os valores médios das concentrações de partículas foram comparados com o limite de tolerância (LT) estabelecido pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) para “Particulados não Classificados de Outra Maneira” (PNOC), conforme descrito no item 2.4.3, quadro 18. É importante ressaltar que os dados utilizados foram corrigidos para a jornada de trabalho brasileira de 44 horas semanais.

Conforme o gráfico 1, a concentração de partículas no ambiente de trabalho analisado apresentada na tabela 12, com valor médio para os cinco dias de coleta de 16,1069 mg/m³ e desvio padrão de 2,2966 mg/m³, foi superior 83% ao limite de tolerância para PNOC, de 8,8 mg/m³ recomendado pela ACGIH para a fração poeira total (PT), descrito no quadro 18.

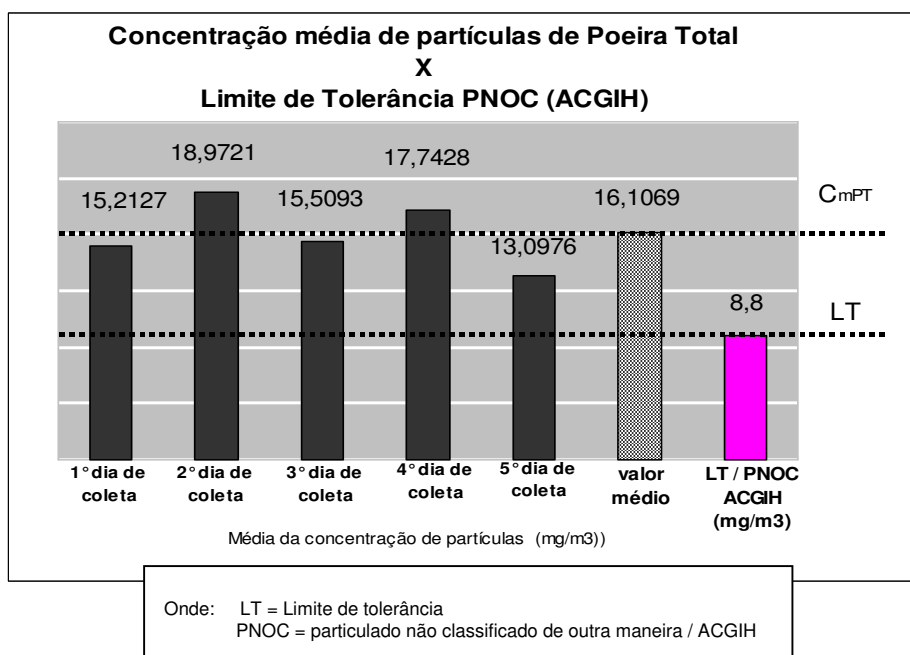


Gráfico 1: Comparação da concentração média de partículas de poeira total (C_{mPT}) coletadas com o Limite de Tolerância da ACGIH (Fonte: A Autora, 2008)

Da mesma forma, o gráfico 2 demonstra que a concentração de partículas para a fração de poeira respirável (PR) apresentada na tabela 13, com valor médio para os cinco dias de coleta de $2,4741 \text{ mg/m}^3$ e desvio padrão de $0,3832 \text{ mg/m}^3$, encontra-se apenas 6,5% abaixo do limite de tolerância para PNOC de $2,64 \text{ mg/m}^3$ recomendado pela ACGIH, descrito no quadro 18.

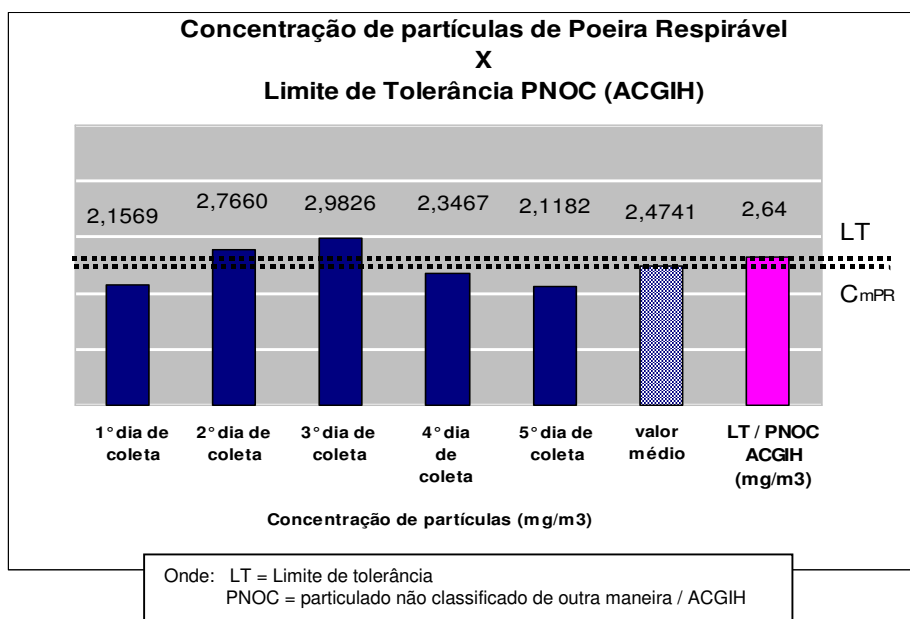


Gráfico 2: Comparação da concentração de partículas de poeira respirável (C_{mPR}) coletadas com o Limite de Tolerância da ACGIH (Fonte: A Autora, 2008)

Estes dados indicam que o particulado sólido produzido a partir da ruptura mecânica do aglomerado é um material com grande potencial para desencadear doenças ocupacionais nos trabalhadores do setor da madeira (quadro 22), pois na fração de poeira total (PT) a concentração de partículas encontrada se apresentou superior aos limites de tolerância estabelecidos pela ACGIH para PNOC, e na fração de poeira respirável (PR), se for considerado o desvio padrão a concentração de partículas também pode ser considerada superior ao limite estabelecido.

4.5 CONCENTRAÇÃO DE SÍLICA LIVRE CRISTALINA NO MATERIAL AMOSTRADO

A porcentagem de sílica livre cristalina encontrada nas amostras de poeira total (PT) e poeira respirável (PR), determinada através de espectrofotometria na região do infravermelho, conforme o laudo 5964/07/LATAM (apêndice C), foram utilizadas no cálculo da concentração da substância no material amostrado. Os procedimentos realizados foram executados segundo o método de ensaio NMAM 7602 (NIOSH, 2003), descrito no item 2.4.5.4. As tabelas 14 e 15 apresentam os valores calculados para PT e PR respectivamente.

Tabela 14: Concentração de sílica livre cristalina determinada nas amostras de poeira total (PT)

CONCENTRAÇÃO DE SÍLICA CRISTALINA DETERMINADA NAS AMOSTRAS DE PT				
Código do filtro	% SiO ₂ na amostra	Massa de sílica		Concentração de sílica na amostra C_s (mg/m³)
		m _s (mg)	Volume amostrado V _a (m ³)	
PT1C	0,4	0,0068	0,130	0,0523
PT2E	0,3	0,0042	0,100	0,0420
PT5D	0,6	0,0090	0,108	0,0833
Valor médio da concentração de sílica livre cristalina (C_{smPT})				0,0592
Desvio padrão				0,0215

Onde:
 prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 números (1,2 e 5) - ordenação da data de coleta
 letras (C, D e E) - ordem de coleta
 C_s = concentração de sílica livre cristalina na amostra
 C_{sm} = concentração média de sílica livre cristalina
 SiO₂ = sílica livre cristalina

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 15: Concentração de sílica livre cristalina determinada nas amostras de poeira respirável (PR)

CONCENTRAÇÃO DE SÍLICA CRISTALINA DETERMINADA NAS AMOSTRAS DE PR				
Código do filtro	Massa de sílica		Volume amostrado	Concentração de sílica na amostra
	% SiO ₂	m _s (mg)	V _a (m ³)	C _{sPR} (mg/m ³)
PR1	0,2	0,0022	0,510	0,0043

Onde
 prefixo PR – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira respirável
 número (1) - ordenação da data de coleta (1º dia de coleta)
 C_s = concentração de sílica livre cristalina na amostra
 SiO₂ = sílica livre cristalina

(Fonte: A Autora, 2008)

Conforme estabelecido pela Legislação Brasileira, através da NR15, anexo 12, Portaria nº 3.214, será sempre entendido que quartzo significa sílica livre cristalina e que este material deve ser considerado fonte potencial para o aparecimento de doenças ocupacionais.

O gráfico 3, demonstra a comparação do valor da concentração de partículas de sílica livre cristalina obtido para poeira total (PT) e poeira respirável (PR), com o limite de tolerância específico desta substância de 0,022 mg/m³, determinado pela ACGIH e corrigido para jornada de trabalho brasileira.

De acordo com o a tabela 14 a concentração de sílica livre cristalina encontrada nas amostras de poeira total (C_{smPT}) obteve um valor médio de 0,0592 mg/m³, com desvio padrão de 0,0215 mg/m³, ou seja, uma concentração de partículas 170% superior ao limite de tolerância (LT_s) recomendado.

Com relação à poeira respirável de acordo com a tabela 15 a concentração de sílica livre cristalina (C_{sPR}) encontrada na amostra foi de 0,0043 mg/m³, ou seja, se manteve 80 % abaixo do limite de tolerância (LT_s) específico para substância, estabelecido pela ACGIH, de 0,022 mg/m³.

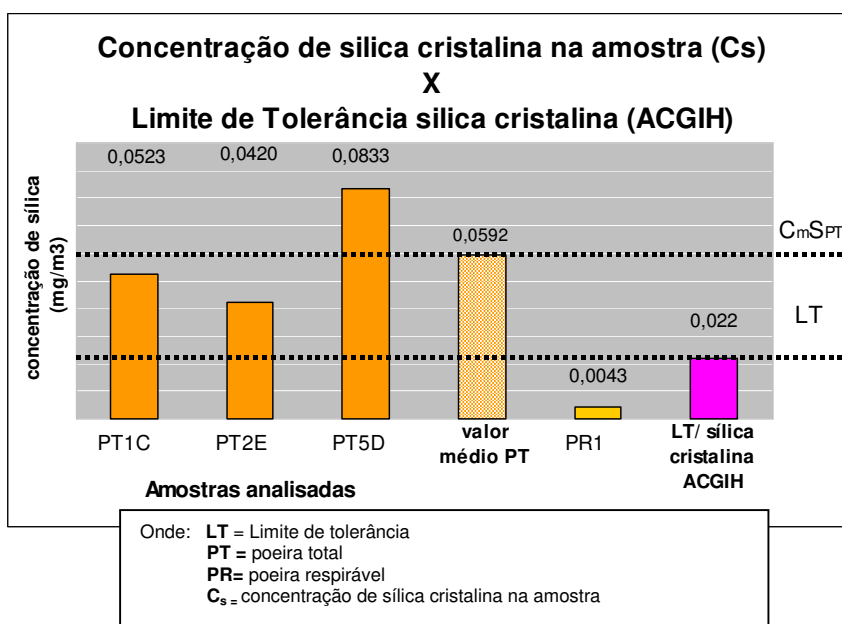


Gráfico 3: Comparação da concentração de sílica livre cristalina da amostra com o Limite de Tolerância à sílica cristalina da ACGIH
(Fonte: A Autora, 2008)

Como este trabalho tem como foco a cadeia produtiva da madeira, é importante ressaltar que a substância que faz parte dos extrativos de qualquer espécie de madeira é a sílica amorfa, sendo esta uma substância inerte para o ser humano; entretanto, de acordo com Santos (2005) sob alteração de temperatura esta substância pode se transformar em sílica livre cristalina. Todavia faz parte do processo produtivo do painel aglomerado a prensagem a quente do colchão de partículas permitindo a cura do adesivo termofixo e a formação final do painel.

Assim sendo, o aparecimento da sílica livre cristalina no particulado sólido do aglomerado é justificado e foi comprovado através da análise química realizada, de acordo com o método de ensaio NMAM 7602 (NIOSH, 2003), item 3.3.4 da metodologia de pesquisa.

Desta forma os dados apresentados nas tabelas 14 e 15 e representados no gráfico 3, demonstram que o particulado sólido do aglomerado possui uma excessiva concentração de sílica cristalina nas partículas da fração de poeira total (C_{smPT}), ou seja, 170% acima do limite de tolerância (LT_s) permitido. Entretanto quando se trata da fração de poeira respirável, que considera apenas as partículas com diâmetro médio menor que 10 μm , o valor da concentração de sílica cristalina (C_{sPR}) encontrada foi de apenas 20% do limite de tolerância (LT_s) recomendado.

4.6 LIMITE DE TOLERÂNCIA ESPECÍFICO PARA O PARTICULADO SÓLIDO COLETADO

Os dados utilizados para este cálculo foram determinados através de espectrofotometria na região do infravermelho conforme laudos 5962/07 (apêndice A) e 5964/07 (apêndice C), emitidos pelo Laboratório de Análises Toxicológicas e Ambientais (LATAM). Na determinação da porcentagem de sílica livre cristalina no material amostrado, foram utilizadas as amostras de poeira total PT1C, PT2E e PT5D e poeira respirável PR1 coletadas sobre filtro de membrana de PVC e amostras de material particulado sólido coletadas sobre a bancada de trabalho A1B, A2B, A3B, A4B e A5B, prensadas sob a forma de pastilhas (*pellets*) de 0,9 mg, segundo o método de ensaio NMAM 7602 (NIOSH, 2003).

Na tabela 16 tem-se o limite de tolerância específico para o particulado sólido do aglomerado, calculado a partir da porcentagem de sílica livre cristalina encontrada nos filtros de membrana analisados nas frações de poeira total (PT) e poeira respirável (PR), segundo critério matemático estabelecido pela NIOSH (2003), descrito no item 2.4.5.4, quadro 25; assim como o valor da concentração de partículas de cada filtro, apresentado nas tabelas 12 e 13 do item 4.4.

Tabela 16: Limite de tolerância do particulado sólido do aglomerado calculado a partir do material coletado sobre filtro de membrana na fração de poeira total (PT)

LIMITE DE TOLERÂNCIA ESPECÍFICO PARA O PARTICULADO SÓLIDO DO AGLOMERADO			
Código do filtro	% SiO ₂	Limite de tolerância do material amostrado LT _p (mg/m ³)	Concentração de partículas na amostra C _p (mg/m ³)
PT1C	0,4	7,0588	13,0769
PT2E	0,3	7,2727	14,0000
PT5D	0,6	6,6667	13,8889
Média dos valores para PT		6,9994	13,6553
Desvio padrão		0,3073	0,5039
PR1	0,2	3,6364	2,1569
Valor para PR		3,6364	2,1569

Onde: números (1,2 e 5) – data de coleta
letras (C, D e E) - ordem de coleta
LT_p = Limite de tolerância do particulado sólido do aglomerado
C_p = Concentração de partículas na amostra
PT = poeira total
PR = poeira respirável
SiO₂ = sílica livre cristalina

(Fonte: A Autora, 2008)

O gráfico 4, demonstra o comparativo entre o limite de tolerância calculado no material amostrado coletado sobre os filtros de membrana PT1C, PT2E, PT5D e PR1 e a concentração de partículas para o particulado sólido do aglomerado. De acordo com a tabela 16, o valor médio do limite de tolerância para a fração de poeira total (LT_{pPT}) foi de $6,9994 \text{ mg/m}^3$, com desvio padrão de $0,3073 \text{ mg/m}^3$ e o valor médio da concentração de partículas (C_{mpPT}) foi de $13,6553 \text{ mg/m}^3$, com desvio padrão de $0,5039 \text{ mg/m}^3$, ou seja, a concentração de partículas foi 95 % superior ao limite de tolerância calculado para o material. Com relação à fração de poeira respirável, a concentração de partículas (C_{mpPR}) encontrada foi de $2,1569 \text{ mg/m}^3$, ou seja, 40% menor que o limite de tolerância calculado (LT_{pPR}) para este tipo de material, que foi de $3,6364 \text{ mg/m}^3$.

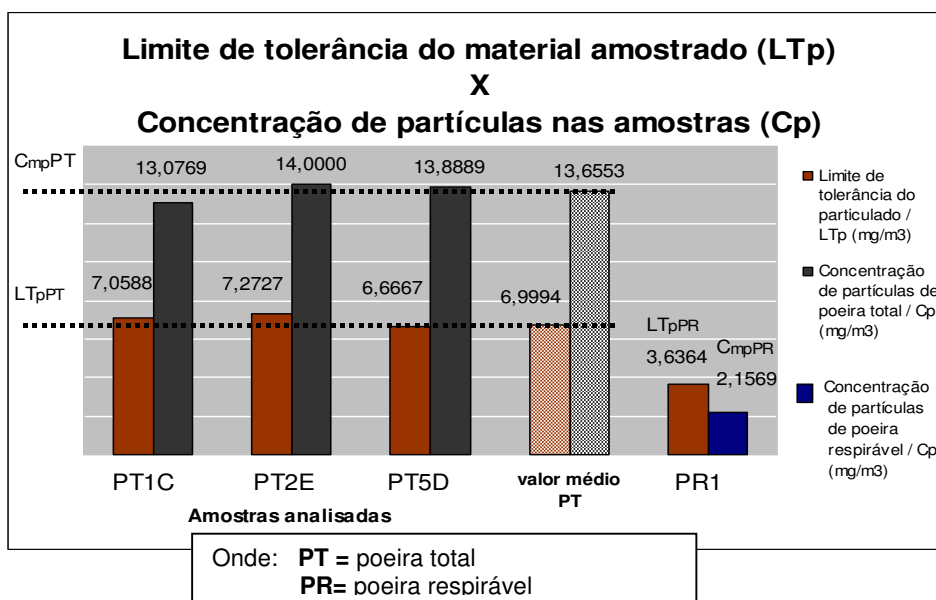


Gráfico 4: Comparação entre o limite de tolerância calculado e as concentrações de partículas total e respirável amostradas sobre os filtros de membrana PT1C, PT2E, PT5D e PR1 (Fonte: A Autora, 2008)

De forma mais abrangente, no gráfico 5 o valor médio do limite de tolerância calculado para a fração de poeira total (LT_{pPT}) do particulado sólido do aglomerado, descrito na tabela 16, foi comparado com a média da concentração de partículas determinada em cada dia de coleta de poeira total, conforme tabela 17, que apresenta apenas os dados finais descritos na tabela 12 do item 4.3. O valor médio total da concentração de partículas (C_{mPT}) dos cinco dias de coleta de poeira total foi de $16,1069 \text{ mg/m}^3$, com desvio padrão de $2,2966 \text{ mg/m}^3$, ou seja, 130% superior ao

limite de tolerância calculado para o material na fração de poeira total (LT_{pPT}), que foi de $6,9994 \text{ mg/m}^3$.

Tabela 17: Média da concentração de partículas dos cinco dias de coleta de poeira total (PT)

CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS DE POEIRA TOTAL (PT)	
Valor médio	Concentração média de partículas $C_m \text{ (mg/m}^3\text{)}$
1° dia de coleta de PT = $*C_{mPT}$	15,2127
2° dia de coleta de PT = $*C_{mPT}$	18,9721
3° dia de coleta de PT = $*C_{mPT}$	15,5093
4° dia de coleta de PT = $*C_{mPT}$	17,7428
5° dia de coleta de PT = $*C_{mPT}$	13,0976
Concentração média de partículas dos cinco dias de coleta de PT = C_{mPT}	16,1069
Desvio padrão	2,2966

Onde: prefixo PT – cassetes e filtros de coleta da fração de poeira total
 $*C_{mPT}$ - concentração média de partículas de poeira total por dia de coleta em mg/m^3
 C_{mPT} - concentração média dos cinco dias de coleta de partículas de poeira total em mg/m^3

(Fonte: A Autora, 2008)

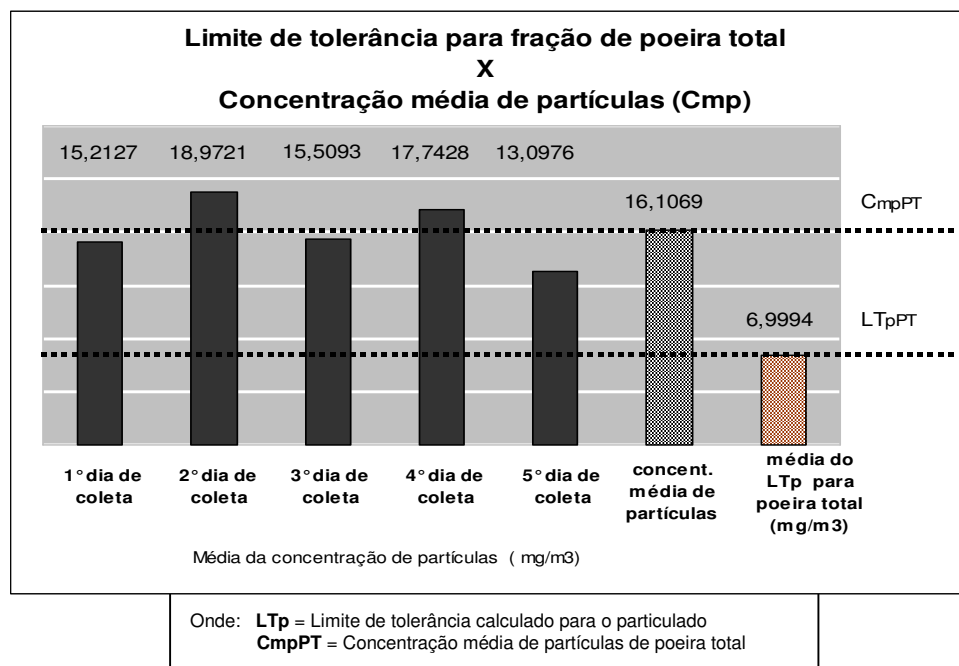


Gráfico 5: Comparação do valor médio do limite de tolerância calculado para a fração de poeira total com a média da concentração de partículas determinada em cada dia de coleta (Fonte: A Autora, 2008)

Da mesma maneira, no gráfico 6 o limite de tolerância calculado para a fração de poeira respirável (LT_{pPR}), de 3,6364 mg/m^3 , apresentado na tabela 16 foi comparado com a concentração de partículas determinada nos dias de coleta de poeira respirável (C_{mpPR}), com valor médio da concentração de partículas de 2,4741 mg/m^3 e desvio padrão de 0,3427 mg/m^3 , conforme a tabela 13 do item 4.3, sendo que o valor médio da concentração de partículas (C_{mpPR}), ficou 32% abaixo do limite de tolerância calculado especificamente para o particulado analisado (LT_{pPR}).

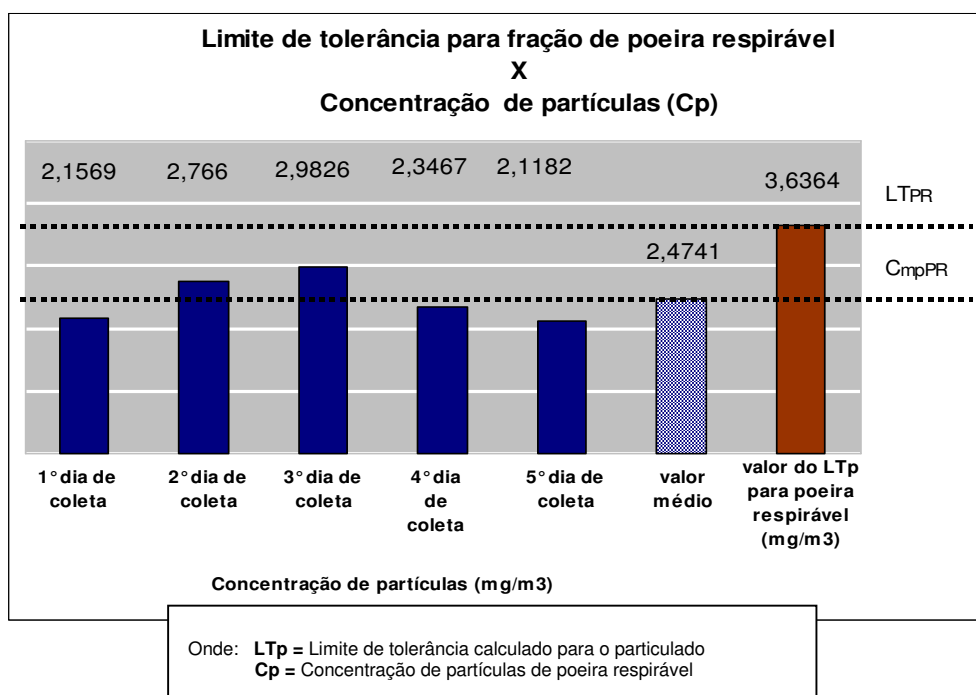


Gráfico 6: Comparação do valor do limite de tolerância calculado para a fração de poeira respirável com a concentração de partículas determinada em cada dia de coleta (Fonte: A Autora, 2008)

Analisando os dados obtidos, os valores da concentração média de partículas de poeira total (C_{mpPT}) foram superior ao dobro do limite de tolerância calculado para o particulado sólido do aglomerado na fração de poeira total (LT_{pPT}), prospectando alto nível de risco ocupacional. Quanto à fração de poeira respirável, a concentração de partículas (C_{mpPR}) nos dias de coleta permaneceu inferior ao limite de tolerância calculado para o particulado (LT_{pPR}). Entretanto é importante ressaltar, que de acordo com o gráfico 2, onde se tem a comparação dos valores da concentração de partículas com o limite de tolerância da ACGIH, para “Particulado não Classificado de Outra Maneira” (PNOC) fração respirável, descrito no quadro 18, o valor médio da concentração de partículas encontrada no ambiente de trabalho

analisado ficou próximo do limite de tolerância da ACGIH de $2,64 \text{ mg/m}^3$, indicando potencial risco ocupacional.

Na tabela 18, tem-se os valores da porcentagem de sílica livre cristalina determinado nas amostras de particulado coletado sobre a bancada de trabalho. Para o cálculo do limite de tolerância foi utilizada a fórmula para poeira total e, então estes valores foram confrontados com a média da concentração de partículas de poeira total estabelecida em cada dia de coleta, conforme tabela 17.

Tabela 18: Limite de tolerância do particulado sólido do aglomerado calculado a partir do material coletado sobre a superfície do maquinário

LIMITE DE TOLERÂNCIA PARA O MATERIAL COLETADO SOBRE O MAQUINÁRIO				
Código da amostra	Data de coleta	% SiO ₂	Limite de tolerância	Concentração média de partículas
			LT _p (mg/m ³)	C _{mp} (mg/m ³)
A1B	15/10/2007	0,5	6,8571	15,2127
A2B	16/10/2007	0,4	7,0588	18,9721
A3B	17/10/2007	0,7	6,4865	15,5093
A4B	18/10/2007	0,4	7,0588	17,7428
A5B	19/10/2007	0,3	7,2727	13,0976
Média dos valores das amostras coletadas			6,9468	16,1069
Desvio padrão			0,2963	2,2966

Onde: números (1 a 5) – data de coleta
 letra (B) - ordem de coleta
 LT_p = Limite de tolerância do particulado sólido do aglomerado
 C_{mp} = Concentração média de partículas na amostra
 AB = amostras de particulado sólido coletadas sobre a superfície do maquinário
 SiO₂ = sílica livre cristalina

(Fonte: A Autora, 2008)

O gráfico 7 demonstra o comparativo entre o limite de tolerância calculado para o material coletado sobre o maquinário (LT_{mp}) e a concentração média do particulado sólido calculada nos dias de coleta de poeira total (C_{mp}). O valor médio do limite de tolerância foi de $6,9468 \text{ mg/m}^3$ com desvio padrão de $0,2963 \text{ mg/m}^3$ e o valor médio da concentração de partículas foi de $16,1069 \text{ mg/m}^3$ com desvio padrão de $2,2966 \text{ mg/m}^3$.

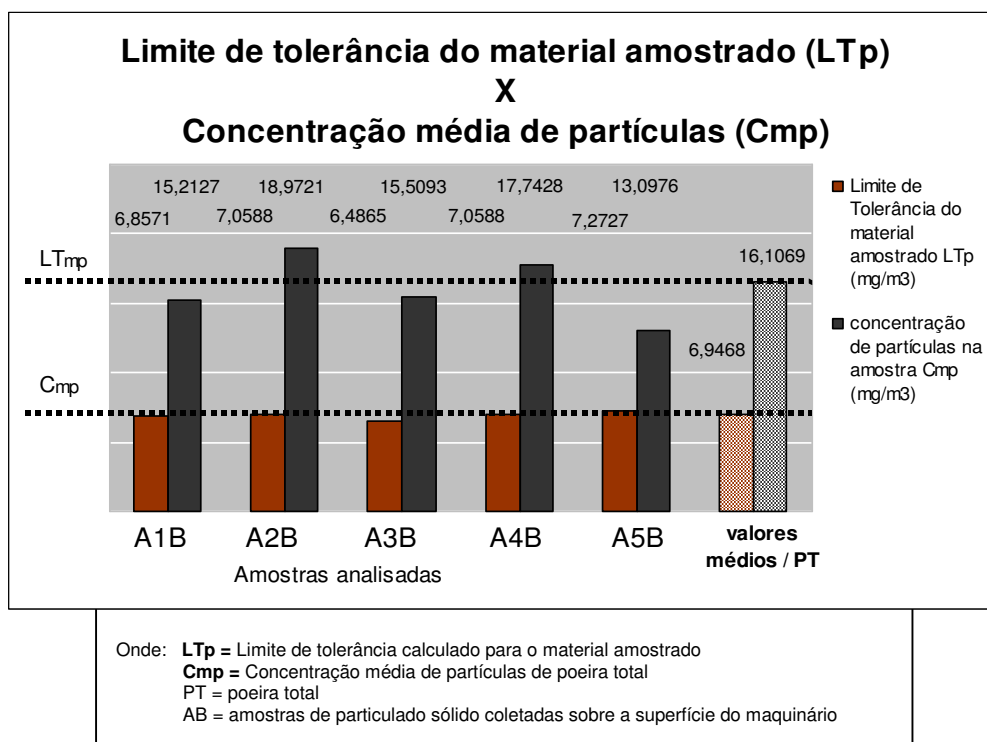


Gráfico 7: Comparação do limite de tolerância calculado para o material amostrado com a concentração de média partículas determinada nos dias de coleta de poeira total (Fonte: A Autora, 2008)

Analisando os dados obtidos, o valor médio da concentração de partículas de poeira total (C_{mp}) foi 132% maior do que permite o limite de tolerância calculado para o material amostrado sobre o maquinário (LT_{mp}).

Comparando os dados do gráfico 7 com os dados do gráfico 5, percebe-se que o valor do limite de tolerância calculado para o material amostrado (LT_{mp}), de $6,9468 \text{ mg/m}^3$ ficou muito próximo do valor do limite de tolerância calculado para o material coletado sobre o filtro de membrana (LT_{pPT}) $6,9994 \text{ mg/m}^3$, na fração de poeira total, respectivamente. Como estes valores foram calculados especificamente para o particulado sólido do aglomerado, o valor obtido foi um pouco inferior ao estabelecido pela ACGIH de $8,8 \text{ mg/m}^3$ para “Particulado não Classificado de Outra Maneira” (PNOC) para a fração de poeira total, demonstrado no gráfico 1.

Entretanto, de acordo com a NIOSH (2003), item 2.4.5.4 da revisão de literatura, se o valor obtido para a concentração de partículas nas amostras coletadas for superior ao limite de tolerância calculado especificamente para o material amostrado, o resultado indica que existe risco ocupacional para o trabalhador sujeito à exposição ao particulado sólido analisado.

4.7 CONCENTRAÇÃO DE FORMALDEÍDO NO PARTICULADO SÓLIDO AMOSTRADO

A concentração de formaldeído nas amostras coletadas foram determinadas de acordo com o método NMAM 2016 (NIOSH, 2003), através de cromatografia líquida de alto desempenho, conforme o laudo 5963/07 (apêndice B), emitido pelo Laboratório de Análises Toxicológicas e Ambientais (LATAM). Foram utilizadas para esta análise apenas amostras coletadas sobre a bancada de trabalho, codificadas AB, pois como se tratavam de partículas suscetíveis à interferência externa, o material amostrado sobre o filtro de membrana de PVC poderia sofrer alteração na sua morfologia na retirada e diluição do material.

A tabela 19 apresenta as concentrações de formaldeído encontrado nas amostras analisadas. Estes valores devem ser confrontados com o limite de tolerância da ACGIH de 0,3 ppm ou 0,369 mg/m³ apresentado no item 2.3.3.3, quadro 8.

Tabela 19: Concentração de formaldeído no particulado sólido amostrado

CONCENTRAÇÃO DE FORMALDEÍDO NO MATERIAL AMOSTRADO			
Código da amostra	Data de coleta	Concentração de formaldeído C_f (ppm)	Concentração de formaldeído C_f (mg/m³)
A1B	15/10/2007	0,6	0,738
A2B	16/10/2007	0,7	0,861
A3B	17/10/2007	0,4	0,492
A4B	18/10/2007	0,3	0,369
A5B	19/10/2007	0,4	0,492
Média dos valores das amostras coletadas		0,48	0,5904
Desvio padrão		0,1643	0,2021

Onde: números (1 a 5) – data de coleta
 letra (B) - ordem de coleta
 C_f = concentração de formaldeído
 AB = amostras de particulado sólido coletadas sobre a superfície do maquinário
 1ppm = 1,23 mg/m³

(Fonte: A Autora, 2008)

O gráfico 8 demonstra a comparação do limite de tolerância (LT_f) da substância de $0,369 \text{ mg/m}^3$, estabelecido pela ACGIH, com a concentração de formaldeído (C_f) existente nas amostras coletadas sobre a bancada de trabalho, de acordo com o item 2.4.5.5, quadro 27. O valor médio da concentração de formaldeído (C_{mf}) obtido foi de $0,5904 \text{ mg/m}^3$, com desvio padrão de $0,2021 \text{ mg/m}^3$.

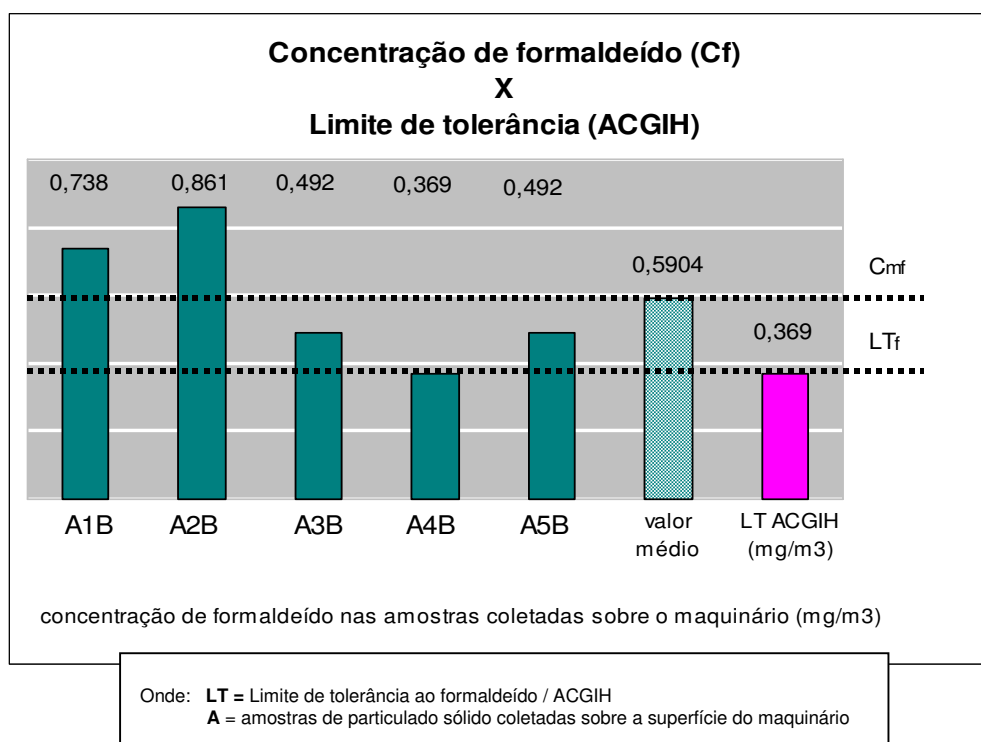


Gráfico 8: Comparação do limite de tolerância estabelecido pela ACGIH com a concentração de formaldeído calculado nas amostras coletadas.
(Fonte: A Autora, 2008)

Segundo os dados coletados, a concentração de formaldeído (C_{mf}) encontrada no material amostrado foi 60% superior ao limite de tolerância estabelecido (LT_f) pela ACGIH, que é de $0,369 \text{ mg/m}^3$; descrito no quadro 8, sendo que este limite implica na caracterização da substância como categoria A2, ou seja, suspeita de ser cancerígena em humanos.

De acordo com a relação entre a concentração de formaldeído e os sintomas apresentados no ser humano, estabelecida pelo Instituto Nacional de Câncer (INCA) e apresentada no quadro 7, a concentração média de formaldeído encontrada no particulado sólido do aglomerado, com valor de $0,5904 \text{ mg/m}^3$, se enquadra entre 0,3 a 0,8 ppm, ou $0,369$ a $0,984 \text{ mg/m}^3$, ou seja, está no nível limiar para o odor, causando irritação leve no nariz e garganta.

4.8 DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NO PARTICULADO SÓLIDO COLETADO

A análise química das partículas sólidas do aglomerado foi realizada através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) equipado com espectrômetro de energia dispersiva (EDS), com resolução de 137 eV. Torna-se importante salientar que através deste método os elementos químicos de baixa massa molecular como o hidrogênio (H), carbono (C) e nitrogênio (N), que fazem parte da estrutura elementar da madeira, são de difícil quantificação, pois possuem baixo índice de absorção e distribuição dos raios-X. Entretanto, quando encontrados em grande quantidade na partícula, conseguem ser detectados.

Conforme a quadro 35, do item 3.3.3, as partículas analisadas por EDS foram escolhidas de forma aleatória e se localizavam no centro a imagem. Como exemplo tem-se as figuras 48, 49, 50, 51, 52, 53 e 54, com as imagens do campo microscópico PT1B-003, PT1D-029, PT3F-021, PT4B-021, PT4E-023, PT5C-022 E PT5F-024, respectivamente, com o gráfico de análise correspondente.

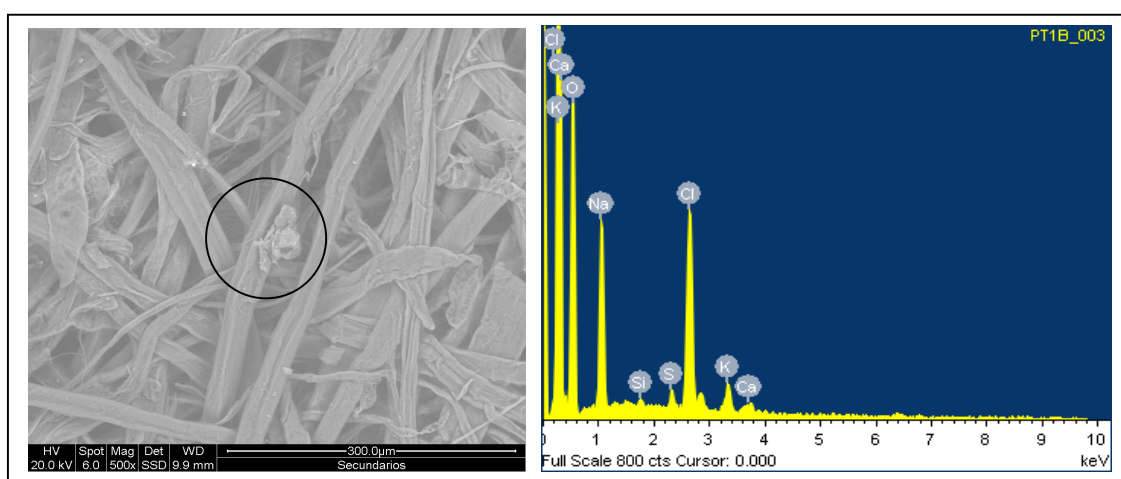


Figura 48: Imagem do campo microscópico PT1B-003 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central (Fonte: A Autora, 2008)

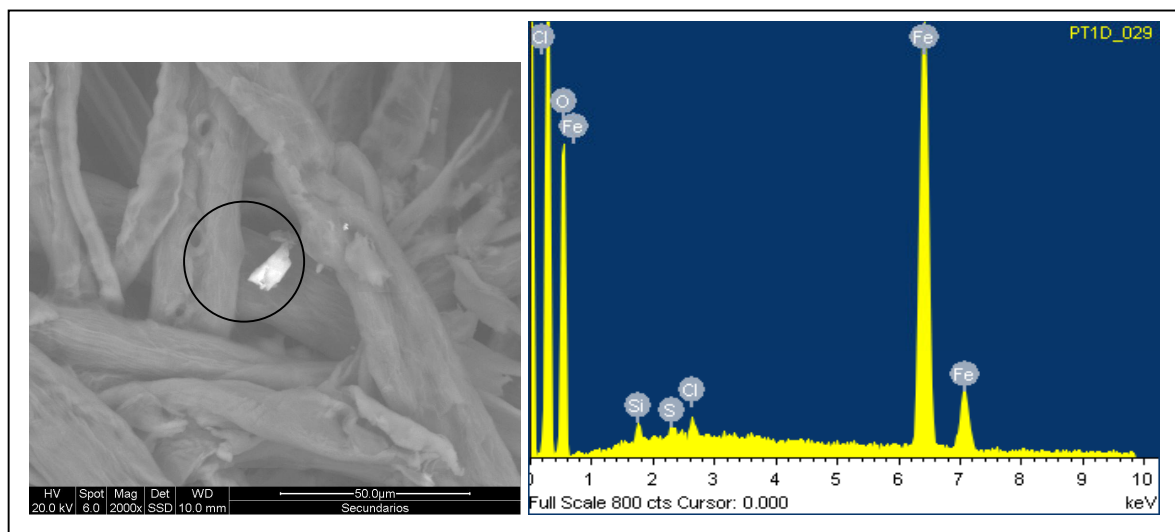


Figura 49: Imagem do campo microscópico PT1D-029 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central (Fonte: A Autora, 2008)

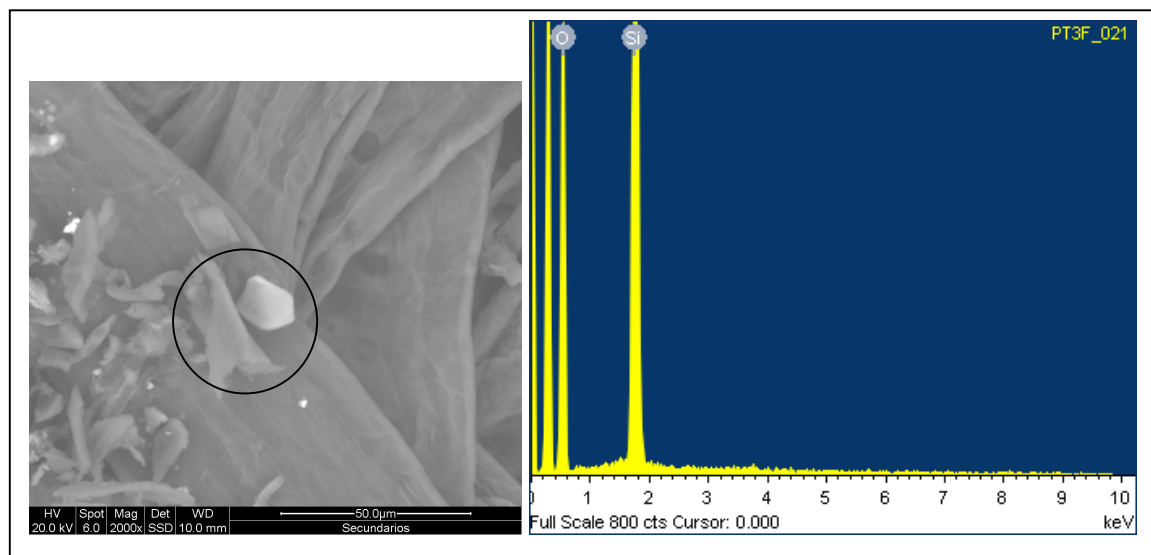


Figura 50: Imagem do campo microscópico PT3F-021 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central (Fonte: A Autora, 2008)

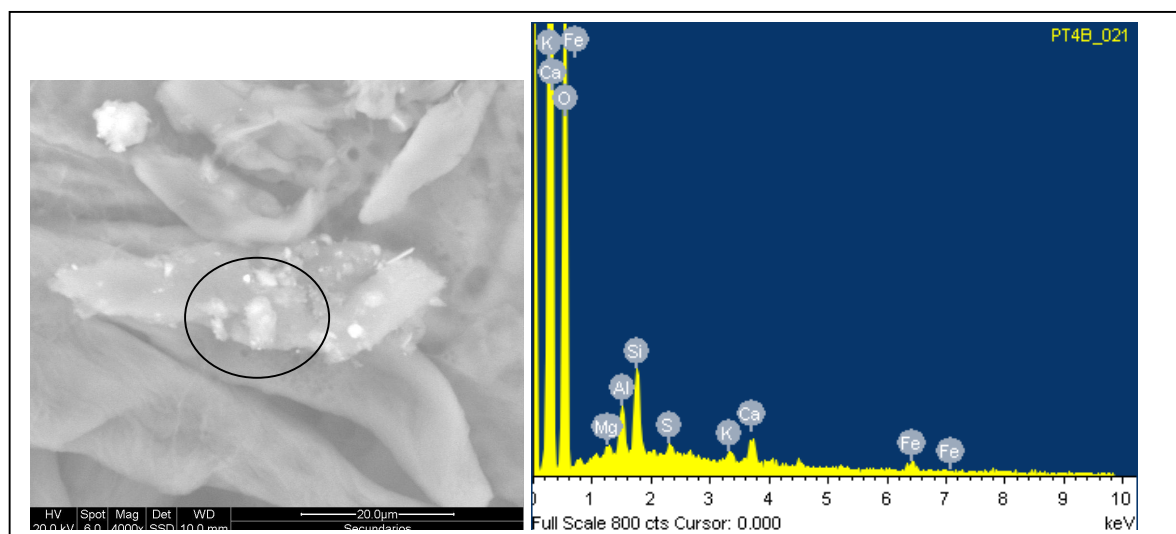


Figura 51: Imagem do campo microscópico PT4B-021 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central (Fonte: A Autora, 2008)

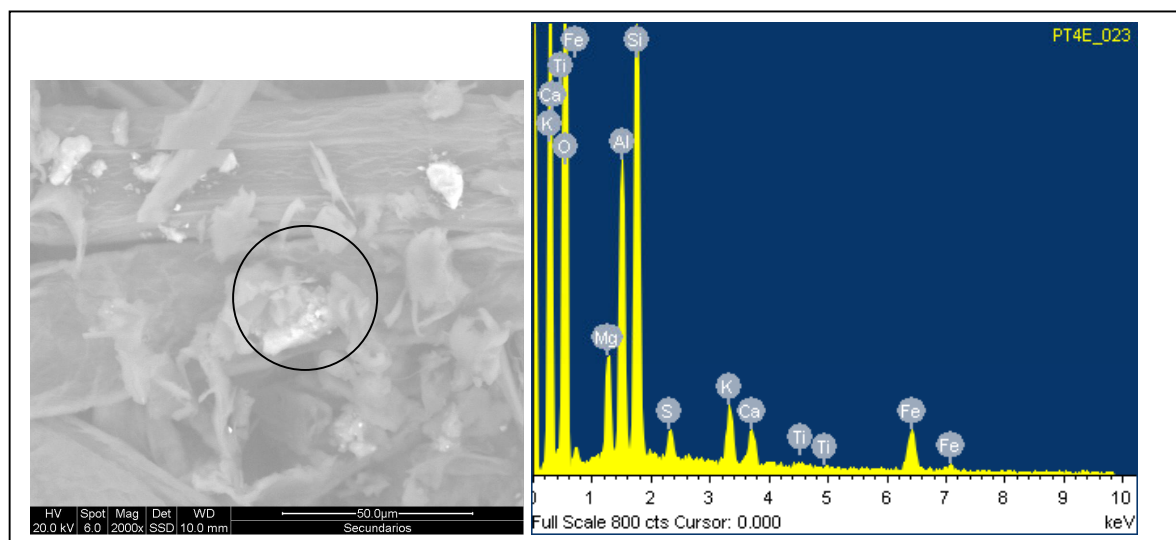


Figura 52: Imagem do campo microscópico PT4E-023 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central (Fonte: A Autora, 2008)

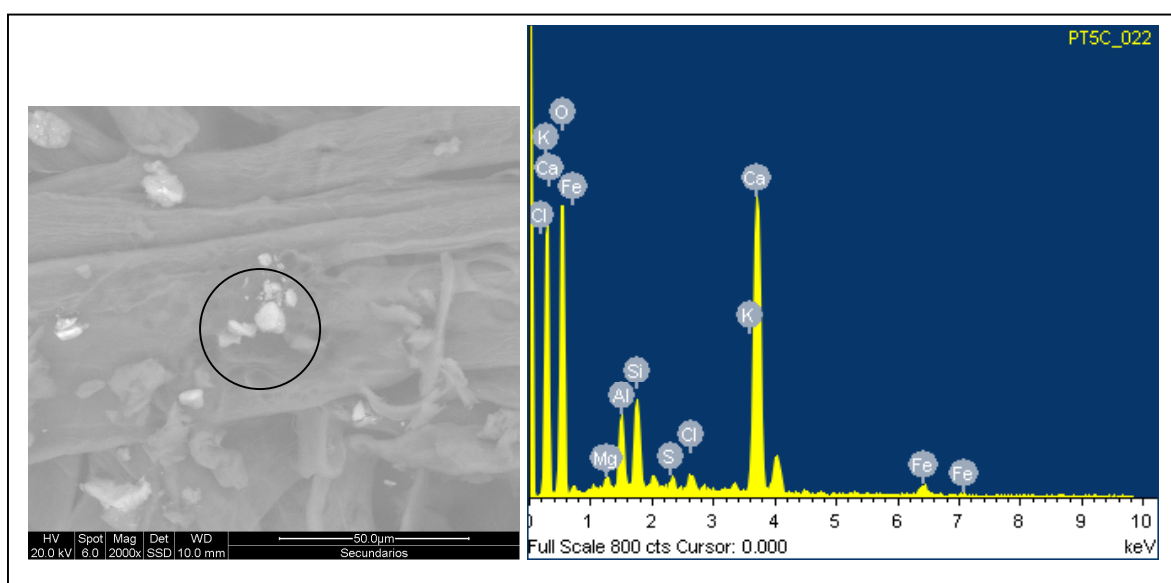


Figura 53: Imagem do campo microscópico PT5C-022 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central (Fonte: A Autora, 2008)

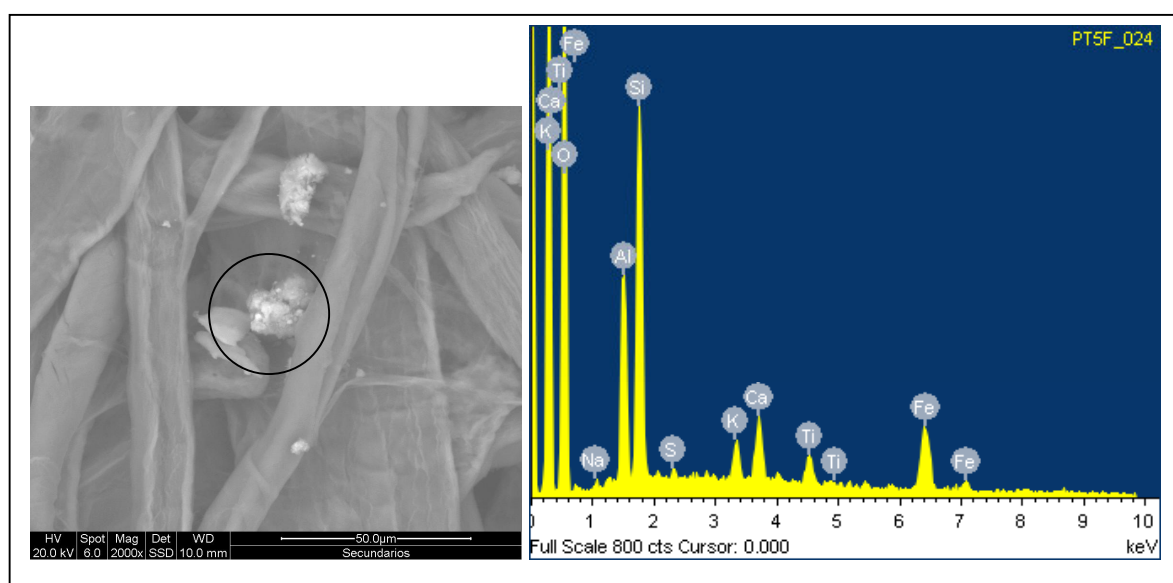


Figura 54: Imagem do campo microscópico PT5F-024 analisado por EDS com o gráfico dos componentes químicos da partícula situada na região central (Fonte: A Autora, 2008)

Ao todo foram analisados vinte e dois campos microscópicos por EDS, apresentados na tabela 20, pois os campos microscópicos PT2F-021, PT2F-022 e PT2F-023 não puderam ser quantificados quimicamente por problemas técnicos

ocorridos no processamento da imagem. Assim sendo, os elementos químicos presentes nas partículas analisadas foram: nitrogênio (N), oxigênio (O), sódio (Na), magnésio (Mg), alumínio (Al), silício (Si), enxofre (S), cloro (Cl), potássio (K), cálcio (Ca), tálio (Tl) e ferro (Fe).

Tabela 20: Elementos químicos detectados nas partículas analisadas por microscopia eletrônica através do espectrômetro de energia dispersiva (EDS)

CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS NAS PARTÍCULAS SÓLIDAS ANALISADAS														
Filtro	Campo microsc.	N (%)	O (%)	Na (%)	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	S (%)	Cl (%)	K (%)	Ca (%)	Tl (%)	Fe (%)	Total (%)
PT1B	003		60.76	18.99			0.48	0.94	15.68	2.33	0.81			100
	004		72.50						27.50					100
PT1D	027		65.27		1.17	6.85	12.55	1.06	0.64	1.43	5.08		5.94	100
	028	23.33	71.88		0.38	0.66	1.04	0.65		0.30	1.17		0.58	100
	029		24.55				0.95	0.44	0.94				73.12	100
PT3F	021		60.26				39.74							100
	022		72.49			2.60	3.94	0.22			19.70		1.06	100
	023		60.08		3.54	8.99	15.04			3.72	0.62	0.53	7.48	100
PT4B	021		80.53		1.02	4.13	6.62	1.14		1.07	3.04		2.45	100
	022		59.28			26.31	14.41							100
	023		65.37		0.48	0.25	0.90	0.43			32.56			100
PT4E	019		53.68			0.75	41.68				1.08		2.80	100
	023		62.87		3.62	8.59	14.78	0.97		2.41	1.63	0.27	4.85	100
PT5C	022		64.78		0.56	3.54	4.44	0.42	0.81	0.42	22.88		2.14	100
	023		55.06		0.47	13.31	19.67			1.03	0.45		10.00	100
	024		74.98	3.11	0.64	5.70	11.74	0.89			1.45		1.50	100
PT5F	022		55.30	5.36		10.32	26.02				3.00			100
	023		73.03		0.74	1.78	3.14				21.31			100
	024		58.88	0.48		7.87	14.74	0.50		1.89	3.55	2.15	9.92	100

Onde: **PT** = poeira total
1, 3, 4 e 5 = dia da coleta
B a F = ordenação de coleta

É importante ressaltar que o magnésio (Mg), o enxofre (S), o potássio (K) e o tálio (Tl) apareceram na análise química da partícula com uma porcentagem inferior a 4%, e, de acordo com critérios estabelecidos pela metodologia de análise, não são representativos do material amostrado os elementos que aparecem com porcentagem inferior a 10%. Portanto, foram considerados como elementos representativos do particulado sólido do aglomerado apenas o nitrogênio (N), o oxigênio (O), o sódio (Na), o alumínio (Al), o silício (Si), o cloro (Cl), o cálcio (Ca) e o ferro (Fe). O gráfico 9 demonstra a porcentagem máxima e mínima de cada elemento químico encontrado com porcentagem superior a 10% nas partículas analisadas através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) equipado com espectrômetro de energia dispersiva (EDS).

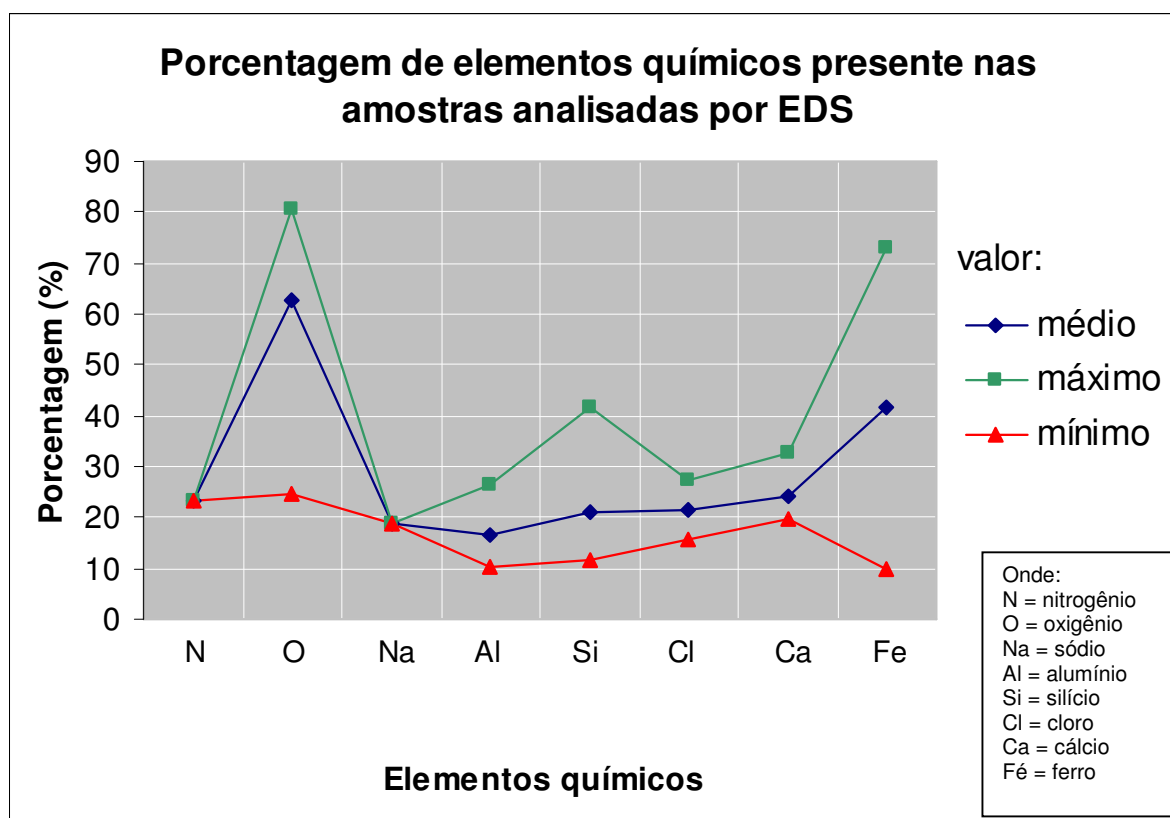


Gráfico 9: Elementos químicos encontrados no particulado sólido do aglomerado através de análise por EDS
(Fonte: A Autora, 2008)

Relacionando os elementos químicos encontrados com os principais componentes formadores do painel de partículas aglomerada, de acordo com o item 2.3.2 e 2.3.3, tem-se: oxigênio (O) como componente químico elementar da madeira, do sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, do formaldeído (CH_2O) e da uréia $(\text{CH}_4\text{N}_2\text{O})$; o nitrogênio (N) como componente elementar da madeira, do sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, do cloreto de amônio (NH_4Cl) , da melamina $(\text{C}_3\text{N}_6\text{N}_6)$ e da uréia $(\text{CH}_4\text{N}_2\text{O})$; o cloro (Cl) como componente elementar do cloreto de amônio (NH_4Cl) ; e o sódio (Na), o silício (Si) e o cálcio (Ca) como componentes inorgânicos da madeira; por sua vez, o ferro (Fe) e o alumínio (Al) não fazem parte da composição química elementar da resina ou da madeira e provavelmente são componentes específicos dos extrativos da madeira da região que provém as toras utilizadas na formação do painel aglomerado.

É importante ressaltar que o painel aglomerado é formado basicamente de partículas de madeira de *Pinus spp.* unidas através da resina uréia-formaldeído sob efeito de calor e pressão, e que por este motivo as partículas sólidas provenientes do processamento mecânico deste material, serão formadas a partir dos elementos químicos formadores da matéria-prima. Como a característica principal do painel de partículas de madeira aglomerada é a homogeneidade, os elementos químicos representativos encontrados nas partículas coletadas sobre o filtro de membrana devem estar presentes em toda a extensão da chapa.

Assim sendo, como já foi analisado nos itens 4.5 e 4.7 e comprovada novamente a existência no presente item, entre os elementos químicos formadores do painel aglomerado, os que são considerados mais perigosos para a saúde humana são o silício, encontrado nos extrativos da madeira na forma amorfa, e que sobre efeito do calor se transforma em sílica livre cristalina, e o formaldeído encontrado na resina sintética.

4.9 HIGROSCOPICIDADE DO PARTICULADO SÓLIDO DO AGLOMERADO COLETADO SOBRE FILTRO DE MEMBRANA

Em análise de aerodispersóides sólidos, deve-se levar em conta as propriedades físico-mecânico do seu material formador, pois por extensão as

partículas terão o mesmo comportamento do material original. Assim sendo, uma das principais características do painel de partículas de madeira aglomerada é ser um material higroscópico, ou seja, sujeito a alterações dimensionais de acordo com as condições ambientais existentes.

De acordo com as especificações fornecidas pela indústria, contidas no item 3.2, quadro 30, o valor médio de absorção de umidade do painel aglomerado é de 7% e o valor médio correspondente ao inchamento é de 6%; características similares também foram observadas no particulado sólido proveniente de painéis de madeira aglomerada durante a análise do material coletado sobre o filtro de membrana.

De acordo com a metodologia, foram executadas de 4 a 6 amostragens nos cinco dias de coleta de poeira total (PT), sendo que o tempo médio de coleta correspondeu a 50 minutos. As coletas iniciavam em torno das 8:20h, com condições ambientais de temperatura variando de 19 a 21 °C e umidade relativa do ar entre 52 e 66%. A última coleta iniciou em torno das 13:50h com a temperatura variando em torno de 21 a 27 °C e umidade relativa do ar entre 37 e 61%.

Após a determinação da massa coletada em cada filtro de poeira total (PT), de acordo com o item 4.1.1, tabelas 06, 07, 08, 09 e 10, foi observado que no período da tarde quando ocorreu a elevação da temperatura ambiente e o decréscimo na umidade relativa do ar, o valor da massa corrigida de partículas coletadas tende a diminuir.

Nas tabelas 21, 22, 23, 24 e 25 tem-se relacionados os valores médios da temperatura e umidade relativa do ar máxima e mínima do ambiente interno da indústria próximo ao maquinário e a massa corrigida das partículas dos filtros de poeira total (PT) dos cinco dias de coleta.

Complementando a análise, os gráficos 10, 11, 12, 13 e 14 apresentam a correlação das médias da temperatura e umidade relativa do ar registradas próximo ao maquinário com a massa corrigida nos cinco dias de coleta de poeira total, PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5 respectivamente, demonstrando a tendência da diminuição da massa corrigida com o decréscimo da umidade relativa do ar, conseqüência do aumento da temperatura ambiente.

Tabela 21: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no primeiro dia de coleta de poeira total (PT1)

PRIMEIRO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT1)				
Horário médio do início da coleta	1º dia de coleta	Temperatura interna média* (°C)	Umidade interna média* (%)	Massa corrigida (mg)
9:10	PT1A	21,4	63	2,0
10: 00	PT1B	21,1	62	1,9
13:00	PT1C	22,35	60,5	1,7
13:50	PT1D	22,75	59	1,6

Onde: **PT** = poeira total
A a D = ordenação de coleta
* Valor médio na área interna da indústria

(Fonte: A Autora, 2008)

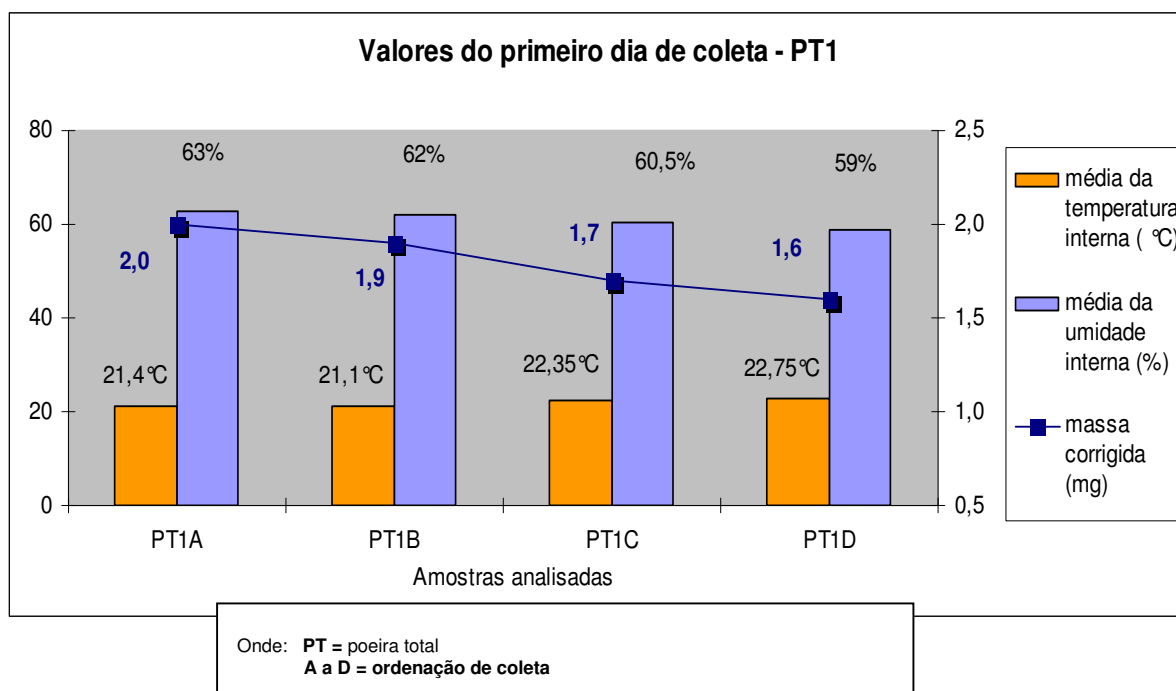


Gráfico 10: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no primeiro dia de coleta de poeira total (PT1)
(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 22: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no segundo dia de coleta de poeira total (PT2)

SEGUNDO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT2)				
Horário médio do início da coleta	2º dia de coleta	Temperatura interna média* (°C)	Umidade interna média* (%)	Massa corrigida (mg)
8:20	PT2A	20,85	66	2,1
9:10	PT2B	21,3	66,5	2,0
10: 00	PT2C	21,6	66	1,8
10:50	PT2D	23,4	64,5	1,8
13:00	PT2E	24,75	63,5	1,4
13:50	PT2F	25,75	61,5	1,5

Onde: **PT** = poeira total
A a D = ordenação de coleta
 * Valor médio na área interna da indústria

(Fonte: A Autora, 2008)

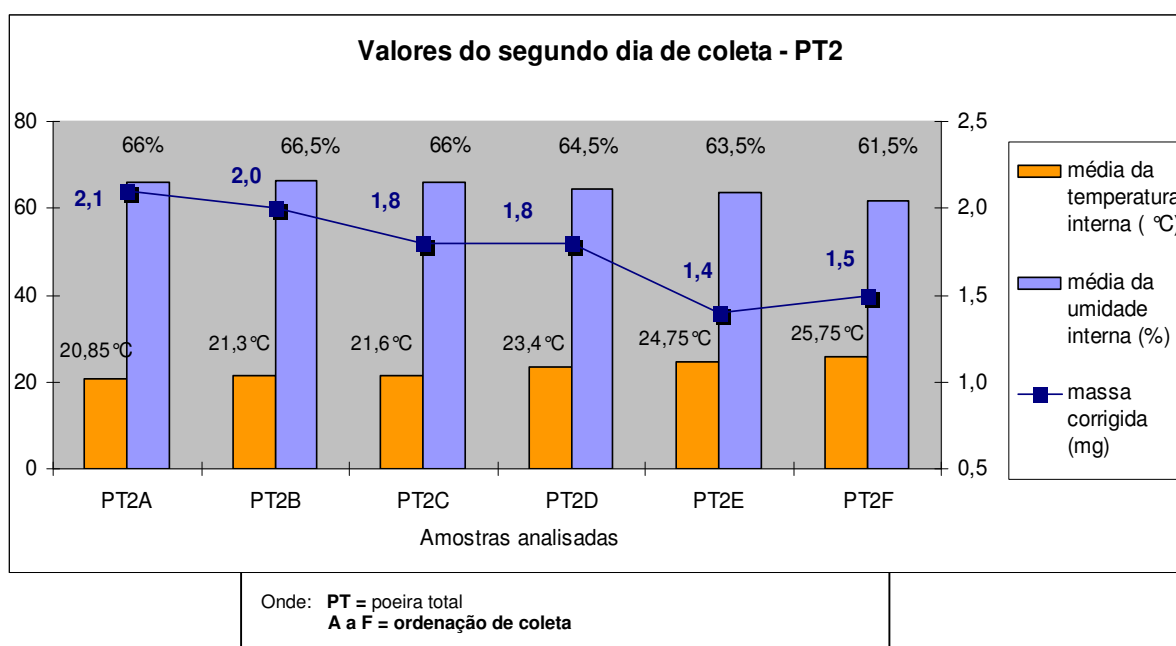


Gráfico 11: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no segundo dia de coleta de poeira total (PT2)

(Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 23: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no terceiro dia de coleta de poeira total (PT3)

TERCEIRO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT3)				
Horário médio do início da coleta	3º dia de coleta	Temperatura interna média* (°C)	Umidade interna média* (%)	Massa corrigida (mg)
8:20	PT3A	19,9	64,5	2,0
9:10	PT3B	20	62,5	1,8
13:50	PT3F	25,95	37,5	0,7

Onde: **PT** = poeira total
A a F = ordenação de coleta
 * Valor médio na área interna da indústria

(Fonte: A Autora, 2008)

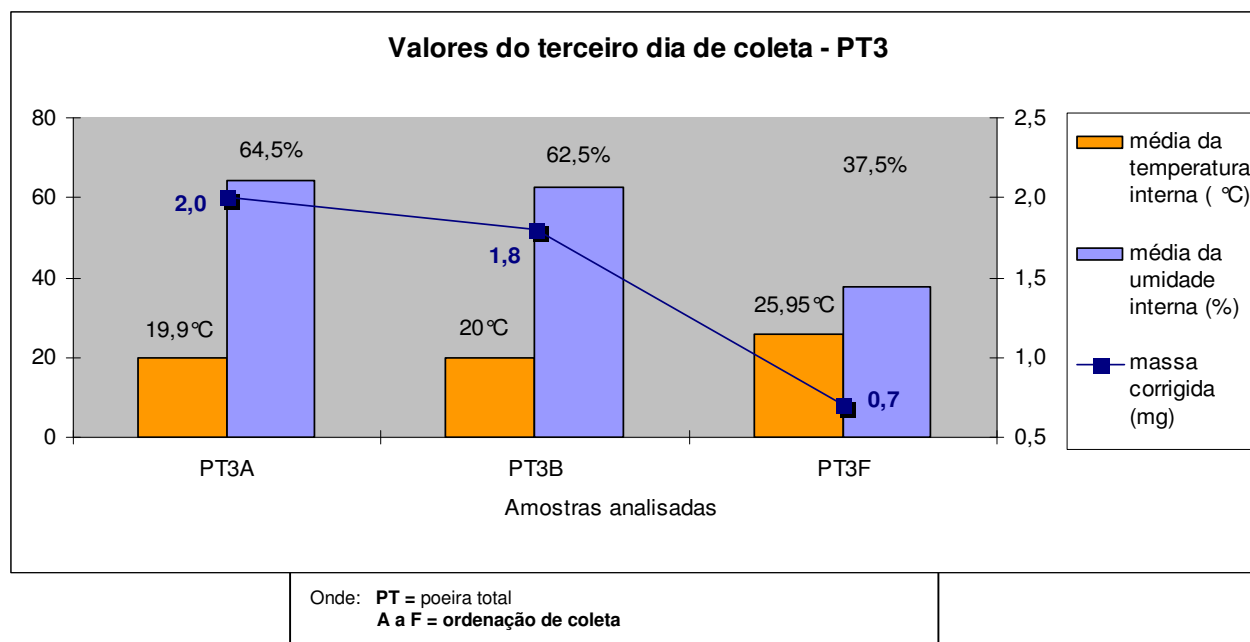


Gráfico 12: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no terceiro dia de coleta de poeira total (PT3)
 (Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 24: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no quarto dia de coleta de poeira total (PT4)

QUARTO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT4)				
Horário médio do início da coleta	4º dia de coleta	Temperatura interna média* (°C)	Umidade interna média* (%)	Massa corrigida (mg)
8:20	PT4A	20,5	52	1,8
10: 00	PT4B	20,2	58,5	1,8
10:50	PT4C	20,25	54	1,8
13:00	PT4D	21,45	51	1,6
13:50	PT4E	21,85	51	1,6

Onde: **PT** = poeira total
A a E = ordenação de coleta
 * Valor médio na área interna da indústria

(Fonte: A Autora, 2008)

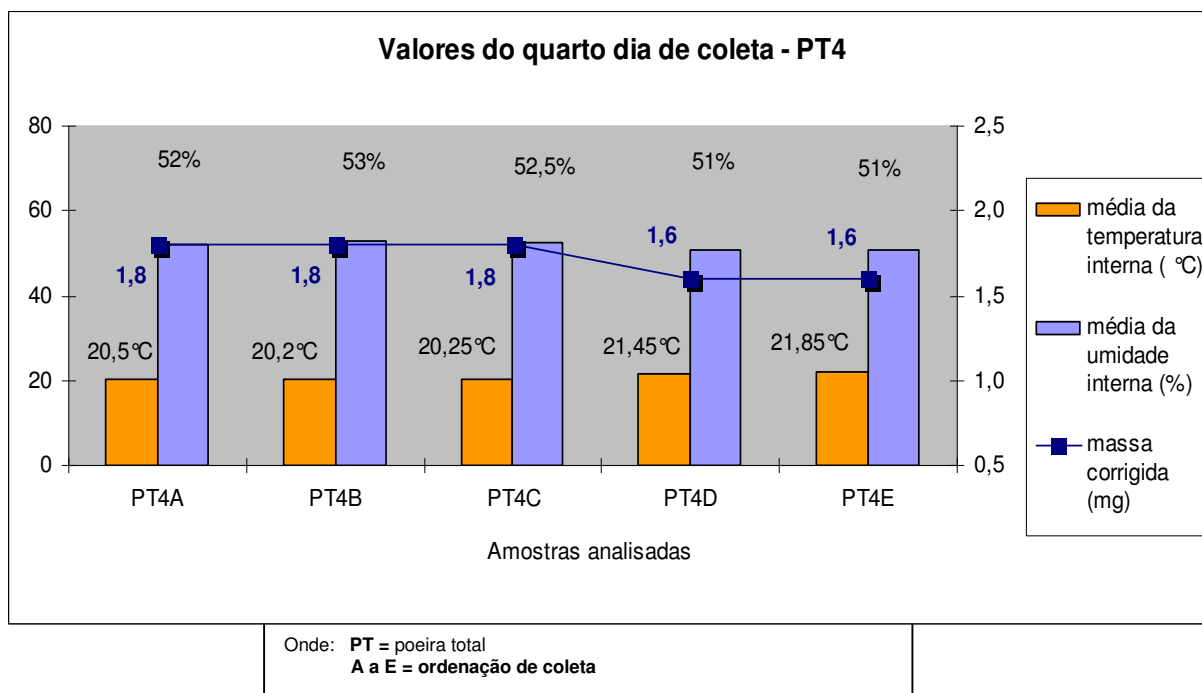


Gráfico 13: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no quarto dia de coleta de poeira total (PT4)
 (Fonte: A Autora, 2008)

Tabela 25: Relação da temperatura, umidade relativa do ar, massa corrigida e quantidade de partículas obtidas no quinto dia de coleta de poeira total (PT5)

QUINTO DIA DE COLETA DE POEIRA TOTAL (PT5)				
Horário médio do início da coleta	5º dia de coleta	Temperatura interna média* (°C)	Umidade interna média* (%)	Massa corrigida (mg)
8:20	PT5A	20,9	59,5	1,3
9:10	PT5B	22,0	54,5	1,2
10: 00	PT5C	22,45	52,5	1,3
10:50	PT5D	23,6	48,5	1,5
13:00	PT5E	25,7	45,5	1,3
13:50	PT5F	27,2	45,5	1,1

Onde: **PT** = poeira total
A a F = ordenação de coleta
 * Valor médio na área interna da indústria

(Fonte: A Autora, 2008)

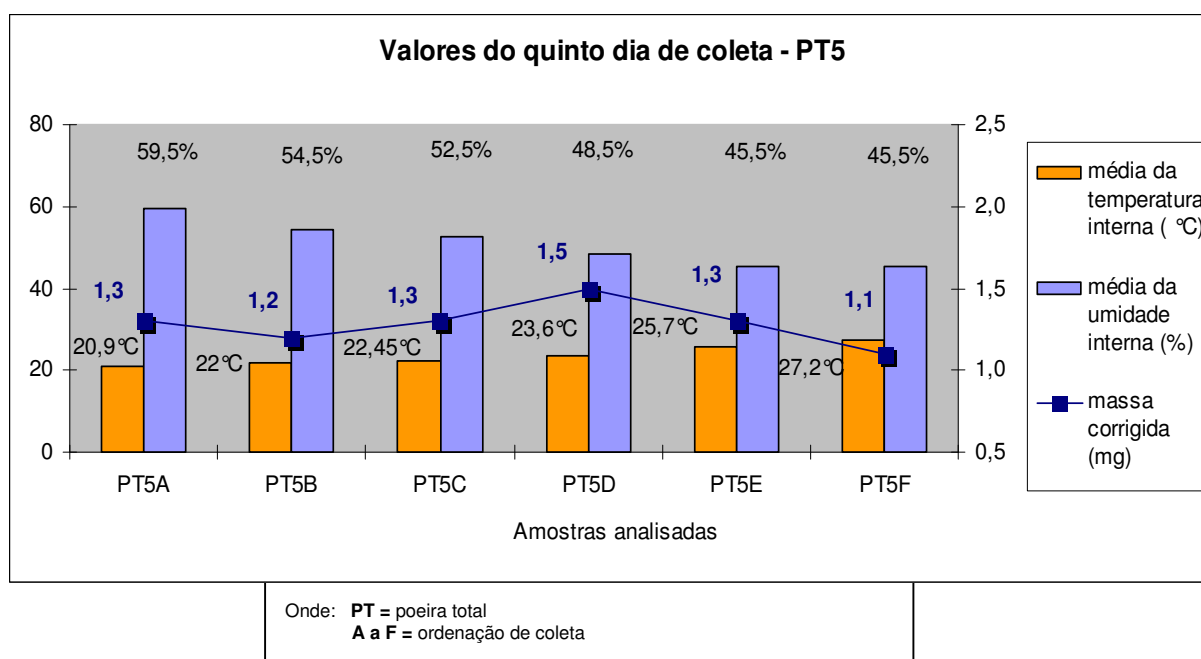


Gráfico 14: Correlação entre a umidade relativa do ar e a massa de partículas coletadas no quinto dia de coleta de poeira total (PT5)

(Fonte: A Autora, 2008)

Os dados apresentados confirmam estudos realizados por SANTOS (2005) ou seja, que a deposição do aerodispersóide sólido depende diretamente do tamanho da partícula e da sua higroscopicidade. Pode-se observar nos gráficos 10, 11, 12, 13, e 14, referentes à coleta de poeira total, que em todos os dias nas coletas do início da tarde quando a temperatura se elevou e a umidade relativa do ar diminuiu houve um declínio no valor da massa de partículas obtidas. Estes dados direcionam o entendimento para que a poeira sólida do aglomerado provavelmente se torna mais leve ao atingir o seu ponto de equilíbrio higroscópico, com o aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar. Desta forma o particulado sólido passa a ser coletado de forma mais eficiente pelo sistema de exaustão colocado sobre o maquinário do que pelo equipamento de coleta do presente experimento, instalado ao lado do maquinário, como demonstram as figuras 15 e 19 do item 3.1.1 da metodologia de pesquisa.

4.10 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DO PARTICULADO SÓLIDO COLETADO SOBRE O FILTRO DE MEMBRANA

4.10.1 Frequência em número do particulado sólido do aglomerado na categoria de poeira total (PT)

De acordo com SANTOS (2005), item 2.4.5.3 da revisão de literatura, para estabelecer maior representatividade em análise estatística quantitativa de aerodispersóides sólidos, os valores obtidos a partir da medição direta do diâmetro geométrico de partículas sólidas devem ser organizados em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico.

Desta forma, na tabela 26, os valores obtidos a partir da medição das partículas de poeira total (PT), por microscopia ótica, dos filtros PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E, foram divididos em 12 intervalos de classe de igual comprimento logarítmico. Nos gráficos 15 e 16 tem-se respectivamente a correlação da frequência absoluta e da frequência acumulada das partículas com o

diâmetro médio obtido nos intervalos de classe logarítmico, sendo que a área do gráfico foi subdividida em fração respirável onde tem-se as partículas com diâmetro até 10 μm , em fração torácica com partículas de 10 até 25 μm e em fração inalável com partículas acima de 25 μm .

Tabela 26: Distribuição de freqüência em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA				
Número de partículas de poeira total (PT) em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio no intervalo de classe (μm)	Número de partículas (n)	Freqüência absoluta (%)	Freqüência acumulada (%)
0 a 2,12	1,06	1353	7,66	7,66
2,12 a 3,00	2,56	145	0,82	8,48
3,00 a 4,24	3,62	3993	22,56	31,04
4,24 a 5,98	5,11	3560	20,04	51,08
5,98 a 8,45	7,22	2496	14,02	65,10
8,45 a 11,94	10,20	2483	13,94	79,04
11,94 a 16,86	14,40	1992	11,28	90,32
16,86 a 23,82	20,34	879	4,98	95,30
23,82 a 33,64	28,73	585	3,31	98,61
33,64 a 47,52	40,58	162	0,92	99,53
47,52 a 67,13	57,33	66	0,37	99,90
67,13 a 94,82	80,98	19	0,10	100,00
TOTAL		17733	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

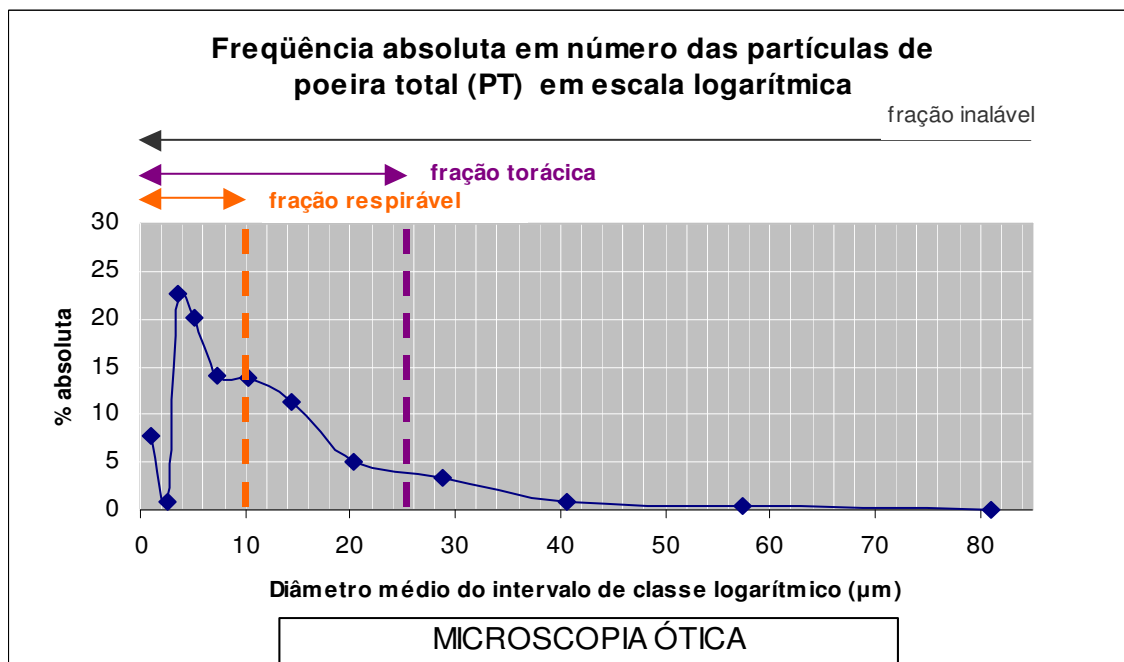


Gráfico 15: Correlação da freqüência absoluta em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

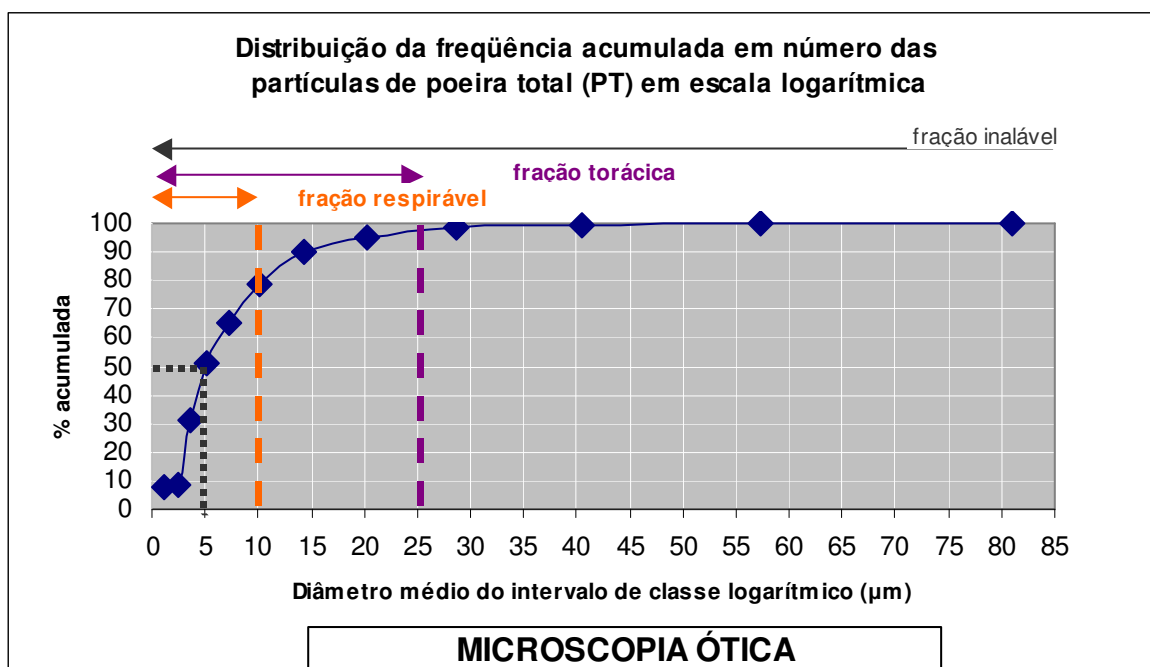


Gráfico 16: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

Analisando a freqüência em número de partículas organizadas em intervalos de classe logarítmico apresentadas na tabela 26 e nos gráficos 15 e 16, pode-se observar que a maior freqüência absoluta de partículas foi de 22,56% para o diâmetro médio de 3,62 μm e a representatividade da freqüência acumulada de 50% das partículas encontram-se na fração respirável, com diâmetro médio aproximado de 5,11 μm .

O mesmo tipo de análise estatística foi realizada para as partículas observadas por microscopia eletrônica, sendo que os valores do diâmetro geométrico das partículas foram organizados em 11 classes de intervalos logarítmico, apresentados na tabela 27. A partir destes dados, os gráficos 17 e 18 demonstram, respectivamente, a distribuição de freqüência absoluta e a freqüência acumulada correlacionadas com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico, sendo que a área do gráfico foi subdividida em fração respirável com partículas com diâmetro até 10 μm , em fração torácica com partículas de 10 até 25 μm e em fração inalável com partículas acima de 25 μm .

Tabela 27: Distribuição de freqüência em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ELETRÔNICA				
Número de partículas de poeira total (PT)				
em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio no intervalo de classe (μm)	Número de partículas (n)	Freqüência absoluta (%)	Freqüência acumulada (%)
0 a 0,26	0,13	0	0,00	0,00
0,27 a 0,47	0,37	47	0,37	0,37
0,48 a 0,83	0,66	89	0,70	1,07
0,84 a 1,48	1,16	938	7,41	8,48
1,49 a 2,63	2,06	1621	12,81	21,29
2,64 a 4,68	3,66	3203	25,30	46,59
4,69 a 8,32	6,51	4002	31,61	78,20
8,33 a 14,80	11,57	2225	17,58	95,78
14,81 a 26,31	20,56	482	3,86	99,64
26,32 a 46,79	36,56	45	0,36	100,0
46,80 a 83,21	65,01	0	0,00	100,0
TOTAL		12652	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

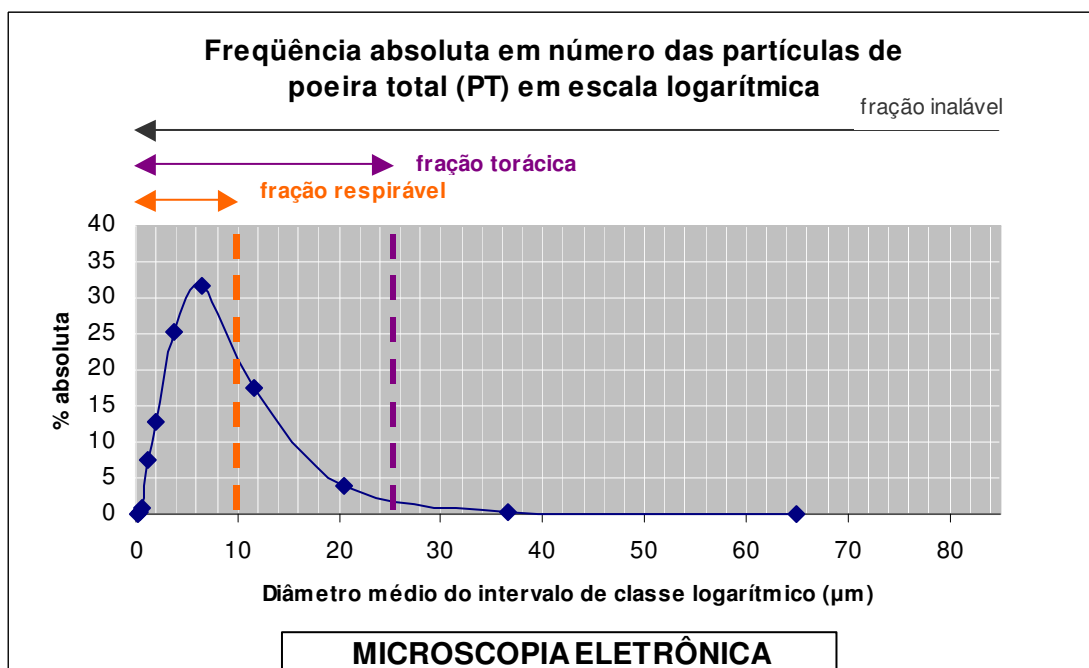


Gráfico 17: Correlação da freqüência absoluta em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

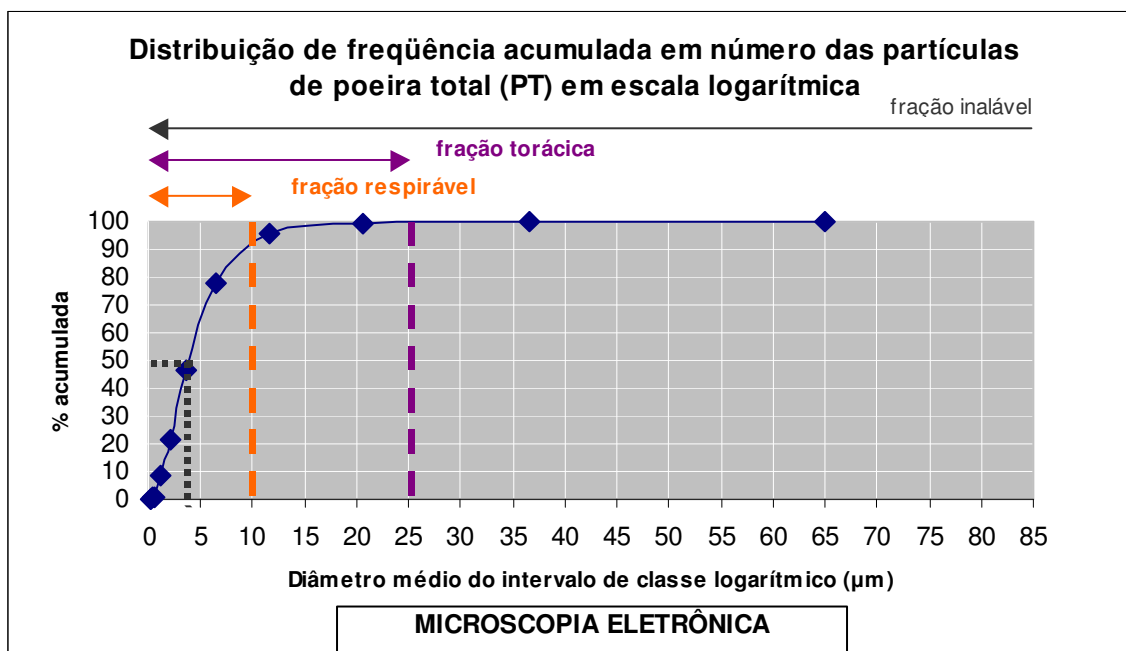


Gráfico 18: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em número das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

Analisando os dados obtidos a partir da medição direta das partículas por microscopia eletrônica, apresentados na tabela 27 e nos gráficos 17 e 18, onde os valores da medição direta de partículas sólidas por microscopia eletrônica foram organizados em escala logarítmica, tem-se como valor representativo de 50% da frequência acumulada de partículas, localizada na fração respirável com diâmetro médio em torno de 5 μm , e a maior frequência absoluta de partículas foi de 31,61% para partículas com diâmetro médio de 6,51 μm .

Sintetizando os resultados obtidos nas análises estatísticas realizadas, com relação à distribuição de frequência acumulada em número das partículas, nos intervalos de classe logarítmico, pode-se afirmar que o particulado sólido produzido a partir do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada, possui maior representatividade na fração respirável, ou seja, partículas com diâmetro geométrico menor que 10 μm . Mais especificamente, os valores do diâmetro geométrico de maior frequência absoluta em número de partículas, foram de 3,62 μm e 6,51 μm para microscopia ótica e eletrônica, respectivamente.

De acordo com a literatura estes dimensionamentos de partículas são classificados como pertencentes à fração respirável, ou seja, partículas de poeira que ultrapassam o sistema de defesa do sistema respiratório do ser humano e penetram nos pulmões. É importante ressaltar que o nível de periculosidade do particulado depende da composição química e do tempo de exposição que estará sujeito o indivíduo durante a atividade de trabalho.

4.10.2 Frequência em massa do particulado sólido do aglomerado na categoria de poeira total (PT)

De acordo com Santos (2005), item 2.4.5.3 da revisão de literatura, buscando aproximação ao comportamento aerodinâmico do aerodispersóide sólido disperso no ambiente de trabalho, ou seja, como o particulado sólido se comporta quando em suspensão, é importante a determinação da sua frequência em massa, calculada pela interação matemática entre o diâmetro médio equivalente, a quantidade de partículas medidas no intervalo de classe e a densidade do material formador. Para o presente estudo o valor para a densidade do particulado sólido do

aglomerado utilizado foi de 640 kg/m^3 , valor representativo da densidade do painel de aglomerado de 15 mm, conforme apresentado no quadro 30.

Visando estabelecer maior representatividade em análise estatística quantitativa de aerodispersóides sólidos, os valores obtidos a partir da medição direta do diâmetro geométrico das partículas foram organizados em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico, pois aproxima mais o resultado do comportamento aerodinâmico real das partículas sólidas.

Desta forma a tabela 28 apresenta a distribuição de freqüência em massa das partículas analisadas por microscopia ótica dos filtros de poeira total PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E, organizadas em 12 classes de intervalos logarítmico. No gráfico 19 os dados da freqüência em massa por classe de partículas, foram correlacionados com os diâmetros médios no intervalo de classe logarítmico, o mesmo ocorreu no gráfico 20 com os dados da distribuição de freqüência acumulada em massa. É importante ressaltar que, para uma melhor visualização da classificação das partículas, as áreas dos gráficos foram subdivididas em fração respirável com partículas de até $10 \mu\text{m}$, fração torácica com partículas de 10 a $25 \mu\text{m}$ e fração inalável com partículas acima de $25 \mu\text{m}$.

Tabela 28: Distribuição da freqüência em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA				
Massa de partículas de poeira total (PT) em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio (μm)	Massa por classe (mg)	Massa por classe (%)	Massa acumulada (%)
0 a 2,12	1,06	2,45E-06	0,02	0,02
2,12 a 3,00	2,56	7,11E-07	0,01	0,03
3,00 a 4,24	3,62	5,78E-05	0,53	0,56
4,24 a 5,98	5,11	1,66E-04	1,51	2,07
5,98 a 8,45	7,22	2,11E-04	1,93	4,00
8,45 a 11,94	10,20	5,44E-04	4,96	8,96
11,94 a 16,86	14,40	1,09E-03	9,93	18,89
16,86 a 23,82	20,34	1,22E-03	11,11	30,00
23,82 a 33,64	28,73	2,09E-03	19,09	49,09
33,64 a 47,52	40,58	1,98E-03	18,04	67,13
47,52 a 67,13	57,33	1,52E-03	13,89	81,02
67,13 a 94,82	80,98	2,08E-03	18,98	100,00
TOTAL		1,10E-02	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

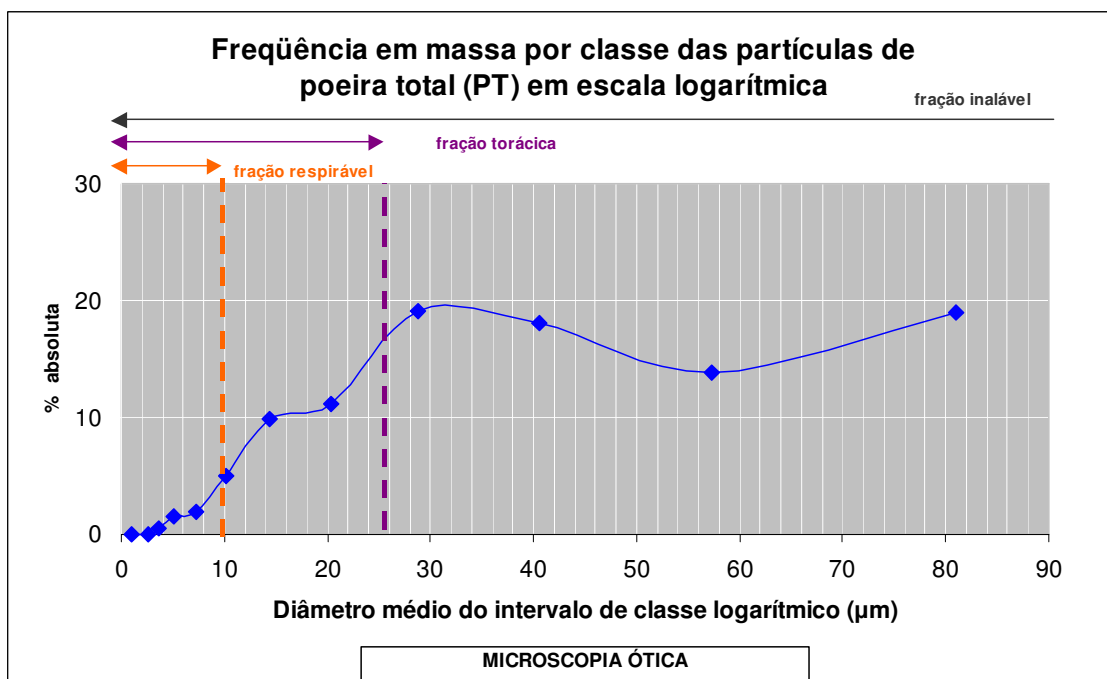


Gráfico 19: Correlação da freqüência em massa por classe das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

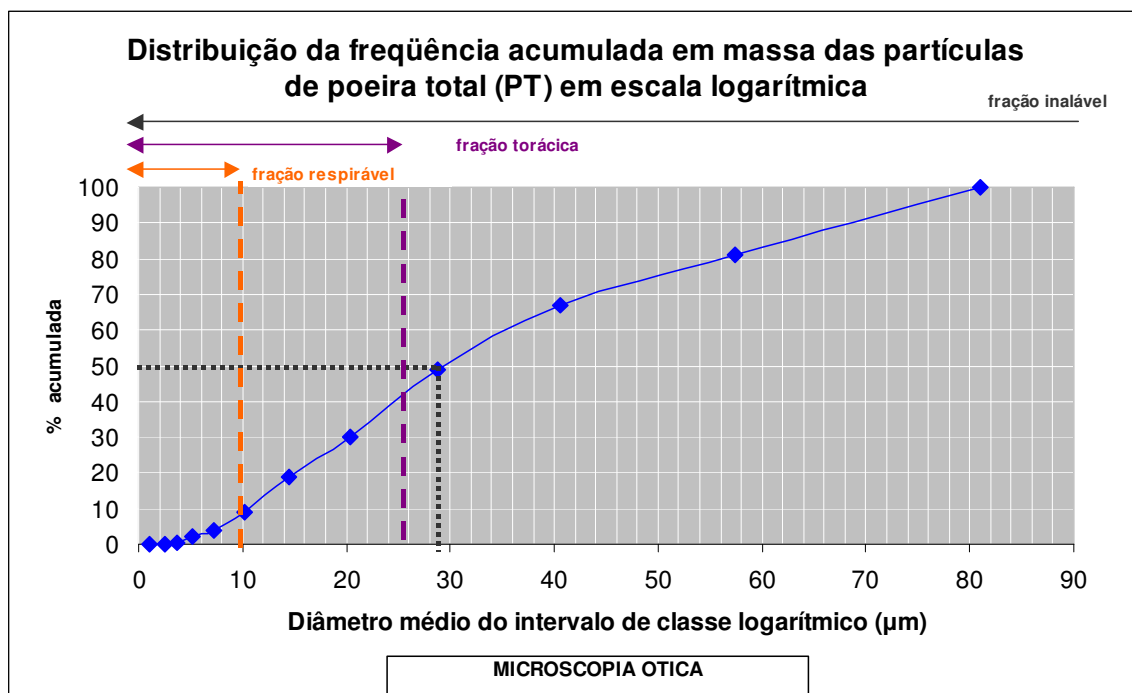


Gráfico 20: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

Analisando os dados obtidos, na análise por microscopia ótica, a maior frequência em massa por classe de partículas, ou seja, a frequência absoluta por classe foi de 19,09% nas partículas com diâmetro médio de 28,73 μm ; na seqüência tem-se as partículas com diâmetro médio de 80,98 μm e 40,58 μm com frequência absoluta de 18,98% e 18,04%, respectivamente. Com relação à distribuição de frequência acumulada, tem-se a representatividade de 50% das partículas na fração inalável com diâmetro médio em torno de 29 μm .

Da mesma forma, na tabela 29 os dados obtidos por meio de microscopia eletrônica também foram utilizados como parâmetros comparativos para análise do comportamento aerodinâmico do particulado sólido do aglomerado, a partir da subdivisão em 11 classes logarítmicas. No gráfico 21 tem-se a correlação da frequência em massa por classe de partículas com o diâmetro médio no intervalo de classe, o mesmo ocorrendo no gráfico 22 para a distribuição de frequência acumulada.

Tabela 29: Distribuição da frequência em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ELETRÔNICA				
Massa de partículas de poeira total (PT)				
em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio (μm)	Massa por classe (mg)	Massa por classe (%)	Massa acumulada (%)
0 a 0,26	0,13	0	0	0
0,27 a 0,47	0,37	0	0	0
0,48 a 0,83	0,66	2,57E-09	0	0
0,84 a 1,48	1,16	3,49E-08	0	0
1,49 a 2,63	2,06	3,05E-06	0,02	0,02
2,64 a 4,68	3,66	3,15E-05	0,19	0,21
4,69 a 8,32	6,51	3,15E-04	1,92	2,13
8,33 a 14,80	11,57	1,91E-03	11,68	13,81
14,81 a 26,31	20,56	5,14E-03	31,44	45,25
26,32 a 46,79	36,56	5,97E-03	36,52	81,77
46,80 a 83,21	65,01	2,98E-03	18,23	100,00
TOTAL		1,63E-02	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

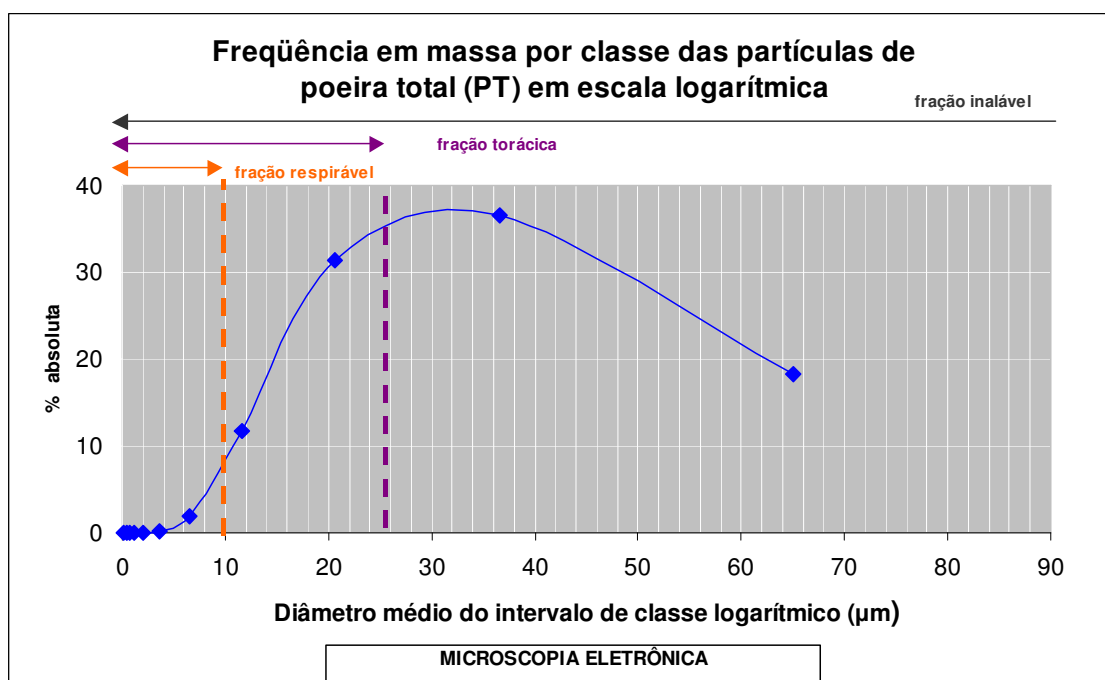


Gráfico 21: Correlação da freqüência em massa por classe das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

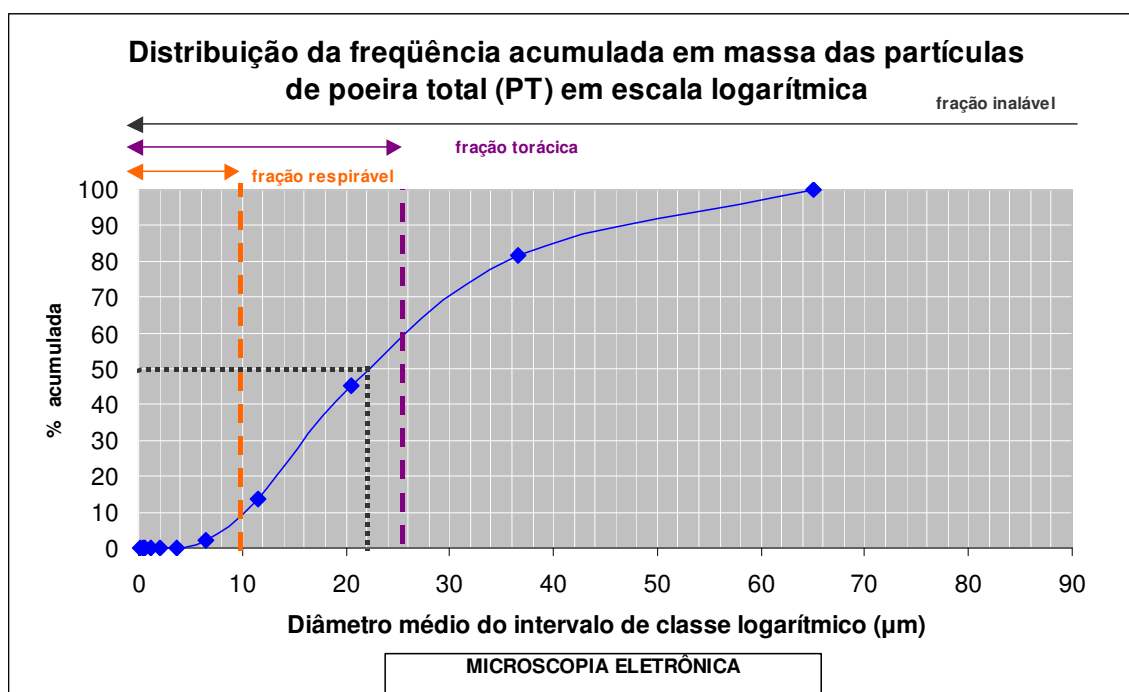


Gráfico 22: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT), obtidas por microscopia eletrônica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

Analisando os dados obtidos com relação aos valores obtidos através da microscopia eletrônica, a maior frequência em massa por classe foi de 36,52% nas partículas com diâmetro médio de 36,56 μm ; na seqüência tem-se as partículas com diâmetro médio de 20,56 μm , com frequência absoluta de 31,44%. Com relação a distribuição de frequência acumulada, tem-se a representatividade de 50% das partículas na fração inalável com diâmetro médio em torno de 29 μm .

Desta forma, os dados obtidos na análise da frequência em massa, por classe ou frequência absoluta do particulado sólido do aglomerado, os valores mais representativos estão situados na fração inalável, com o diâmetro geométrico variando de 28,73 μm a 80,98 μm . Com relação a análise da frequência em massa acumulada, tem-se o valor representativo de 50%, na fração inalável, com o diâmetro médio de 29 μm , tanto para os dados obtidos a partir da microscopia ótica como da microscopia eletrônica. É importante salientar, que o valor encontrado situa-se próximo a porcentagem máxima de massa de particulado definido pela ACGIH (1998), ISO (1995) e CEN (1998) para avaliação do limite de risco ocupacional, pois para partículas com diâmetro aerodinâmico de 30 μm , a representatividade máxima aceitável é de 58% (quadro 15).

4.10.3 Comparação da frequência em número e em massa do particulado sólido do aglomerado *in natura*, BP e FF na categoria de poeira total (PT)

Como dados para a análise comparativa do particulado sólido proveniente dos painéis de madeira aglomerada com revestimentos BP e FF com o particulado sólido do aglomerado *in natura*, utilizou-se apenas o campo microscópico 2C, obtido através da análise por microscopia ótica, conforme descrito no item 3.3.2 da metodologia de pesquisa. Este critério foi utilizado por ser detectada uma maior quantidade de partículas na área central dos filtros com particulado sólido proveniente de painéis com revestimentos BP e FF.

Na tabela 30, estão relacionados os dados da frequência em número das partículas obtidos no campo central 2C, por microscopia ótica, do material coletado sobre os filtros PT2B e PT5B provenientes de painéis aglomerado com revestimentos BP e FF respectivamente; assim como os resultados globais dos

campos centrais 2C analisados por microscopia ótica, dos painéis *in natura*, correspondentes aos filtros de poeira total PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E. Os dados obtidos foram organizados em intervalos de classe logarítmico, como indicado para particulado sólido através da revisão de literatura, item 2.4.5.3. De acordo com estes dados, no gráfico 23 tem-se a correlação da frequência absoluta em número de partículas medidas no campo central 2C com o diâmetro médio no intervalo de classe logarítmico; e no gráfico 24 tem-se a correlação da frequência acumulada em número de partículas com o diâmetro médio logarítmico. É importante salientar que as áreas de plotagem dos gráficos foram subdivididas em fração respirável para partículas de até 10 µm, fração torácica para partículas entre 10 e 25 µm e fração inalável para partículas acima de 25 µm.

Tabela 30: Distribuição da frequência em número das partículas de poeira total (PT) do campo de análise 2C, obtidas por microscopia ótica dos painéis aglomerados com acabamento BP, FF e *in natura*, organizadas em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA											
Número de partículas de poeira total (PT) do campo de análise 2C em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico											
		<i>In natura</i>			BP			FF			
Intervalo de classe (µm)	Diâmetro médio (µm)	Número de partículas (n)	Frequência absoluta (%)	Frequência acumulada (%)	Número de partículas (n)	Frequência absoluta (%)	Frequência acumulada (%)	Número de partículas (n)	Frequência absoluta (%)	Frequência acumulada (%)	
0 a 2,12	1,06	234	3,66	3,66	13	1,72	1,72	20	2,63	2,63	
2,12 a 3,00	2,56	34	0,53	4,19	04	0,53	2,25	03	0,39	3,02	
3,00 a 4,24	3,62	819	12,80	16,99	66	8,71	10,96	67	8,82	11,84	
4,24 a 5,98	5,11	898	14,04	31,03	96	12,66	23,62	83	10,92	22,76	
5,98 a 8,45	7,22	1106	17,29	48,32	111	14,64	38,26	101	13,29	36,05	
8,45 a 11,94	10,20	1122	17,54	65,86	160	21,11	59,37	174	22,90	58,95	
11,94 a 16,86	14,40	1152	18,01	83,87	148	19,53	78,90	156	20,53	79,48	
16,86 a 23,82	20,34	543	8,49	92,36	83	10,95	89,85	71	9,34	88,82	
23,82 a 33,64	28,73	353	5,52	97,88	54	7,12	96,97	64	8,42	97,24	
33,64 a 47,52	40,58	87	1,36	99,24	19	2,51	99,48	13	1,70	98,94	
47,52 a 67,13	57,33	40	0,63	99,87	04	0,52	100,00	04	0,53	99,47	
67,13 a 94,82	80,98	9	0,13	100,00	00	0,00	100,00	04	0,53	100,00	
TOTAL		6397	100%	100%	758	100%	100%	760	100%	100%	

(Fonte: A Autora, 2008)

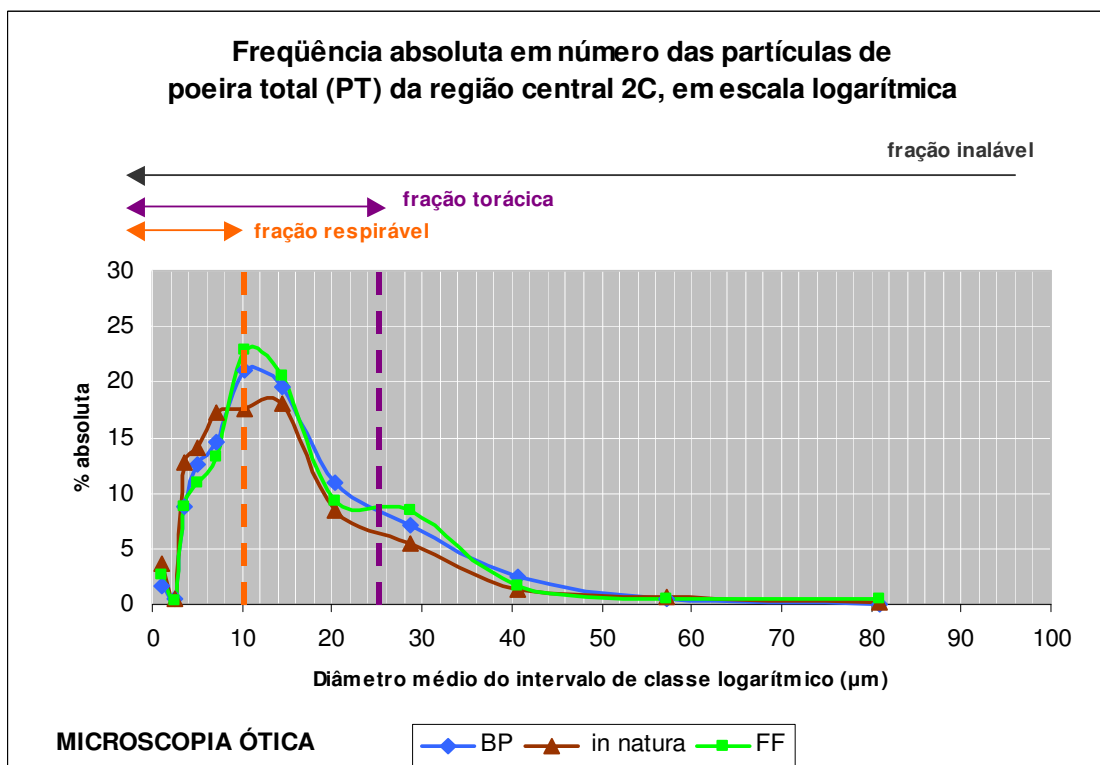


Gráfico 23: Correlação da freqüência absoluta em número das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

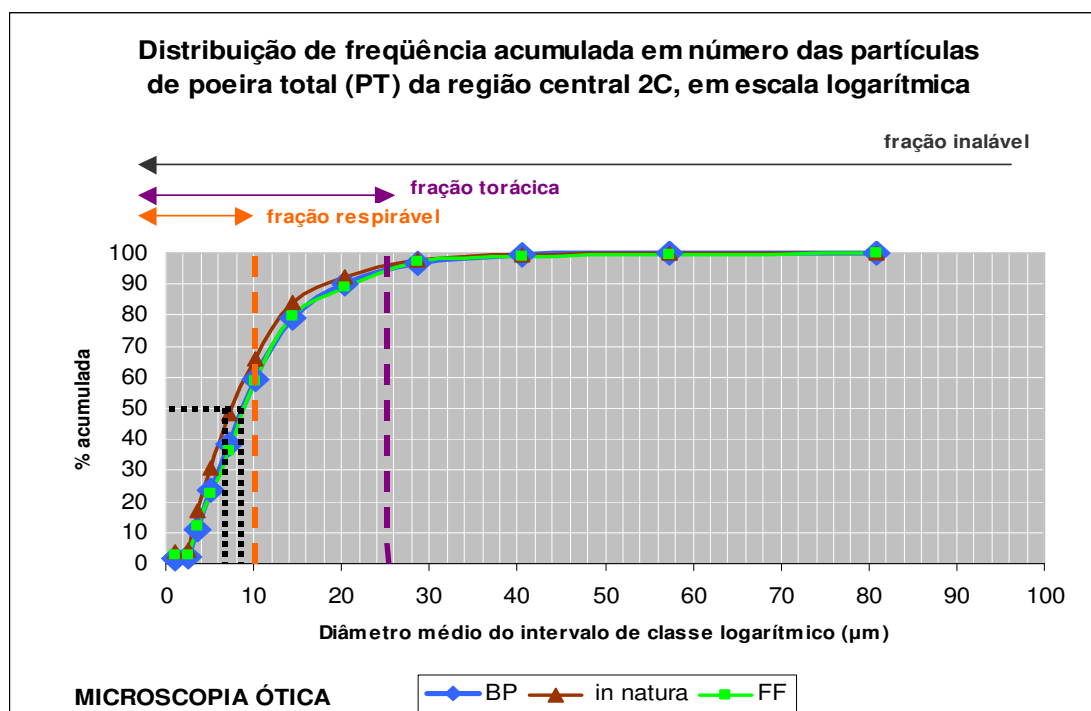


Gráfico 24: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em número das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

Segundo a representação gráfica dos dados da tabela 30 percebe-se uma similaridade nas curvas obtidas tanto com relação à frequência absoluta em número de partículas assim como da frequência acumulada. Este fato indica que independente do material de revestimento do painel de madeira aglomerada, *in natura*, BP ou FF, a quantidade de particulado sólido produzido será a mesma para as frações inalável, torácica e respirável.

É importante ressaltar que a maior frequência absoluta em número ficou no intervalo entre a fração respirável e torácica para o particulado proveniente de painéis BP e FF, com valores de 8,45 a 11,94 μm de diâmetro médio e frequência absoluta de 21,11% e 22,90%, respectivamente; entretanto, para os painéis *in natura*, a maior frequência absoluta foi de 18,01%, situada na fração torácica, com partículas de diâmetro médio de 14,40 μm . Com relação à frequência acumulada em número, o valor representativo de 50% das partículas ficou situado na fração respirável para os três itens de análise, *in natura*, BP e FF.

Na tabela 31 tem-se os dados da frequência em massa por classe e a frequência acumulada em massa, que segundo Santos (2005), item 2.4.5.3 da revisão de literatura, mais se aproxima ao comportamento aerodinâmico do particulado sólido suspenso no ambiente de trabalho. Os dados apresentados foram obtidos através da microscopia ótica do campo de análise 2C, nos filtros de poeira total PT2B e PT5B provenientes de painéis aglomerado com revestimento BP e FF, respectivamente, e nos filtros de poeira total PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E correspondentes aos painéis *in natura*. Da mesma forma, a densidade utilizada para o cálculo da massa do particulado sólido do aglomerado foi de 640 kg/m^3 , valor representativo da densidade do painel de aglomerado de 15 mm, segundo apresentado no quadro 30. Também estes dados foram organizados em intervalos de classe logarítmico, de acordo com o item 2.4.5.3 da revisão de literatura.

Por sua vez, nos gráficos 25 e 26 têm-se respectivamente a correlação da frequência de massa por classe e da frequência acumulada em massa com o diâmetro médio no intervalo de classe logarítmico. Seguindo a mesma metodologia utilizada nos gráficos anteriores, as áreas de plotagem dos gráficos também foram dividida em fração respirável para partículas de até 10 μm , fração torácica para partículas entre 10 e 25 μm e fração inalável para partículas acima de 25 μm .

Tabela 31: Distribuição de freqüência em massa das partículas de poeira total (PT) do campo de análise 2C, obtidas por microscopia ótica dos painéis aglomerados com acabamento BP, FF e *in natura*, organizadas em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA										
Massa de partículas de poeira total (PT) do campo de análise 2C em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico										
		<i>In natura</i>			BP			FF		
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio (μm)	Massa por classe (mg)	Massa por classe (%)	Massa acumulada (%)	Massa por classe (mg)	Massa por classe (%)	Massa acumulada (%)	Massa por classe (mg)	Massa por classe (%)	Massa acumulada (%)
0 a 2,12	1,06	5,03E-07	0,00	0,00	2,80E-08	0,00	0,00	4,30E-08	0,00	0,00
2,12 a 3,00	2,56	2,07E-07	0,00	0,00	2,43E-08	0,00	0,00	1,83E-08	0,00	0,00
3,00 a 4,24	3,62	1,46E-05	0,14	0,14	1,19E-06	0,08	0,08	1,22E-06	0,06	0,06
4,24 a 5,98	5,11	5,29E-05	0,50	0,64	5,73E-06	0,39	0,47	4,98E-06	0,24	0,30
5,98 a 8,45	7,22	1,39E-04	1,33	1,97	1,55E-05	1,04	1,51	1,44E-05	0,69	0,99
8,45 a 11,94	10,20	3,76E-04	3,59	5,56	6,01E-05	4,04	5,55	6,21E-05	2,98	3,97
11,94 a 16,86	14,40	1,11E-03	10,58	16,14	1,62E-04	10,92	16,47	1,65E-04	7,95	11,92
16,86 a 23,82	20,34	1,42E-03	13,51	29,65	2,29E-04	15,38	31,85	1,99E-04	9,57	21,49
23,82 a 33,64	28,73	2,31E-03	22,08	51,73	3,92E-04	26,33	58,18	4,44E-04	21,35	42,84
33,64 a 47,52	40,58	1,77E-03	16,87	68,60	4,07E-04	27,32	85,50	2,63E-04	12,65	55,49
47,52 a 67,13	57,33	1,94E-03	18,48	87,08	2,16E-04	14,50	100,0	2,05E-04	9,85	65,34
67,13 a 94,82	80,98	1,35E-03	12,92	100,0	0,00	0,00	100,0	7,22E-04	34,66	100,0
TOTAL		1,05E-02	100%	100%	1,49E-03	100%	100%	2,08E-03	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

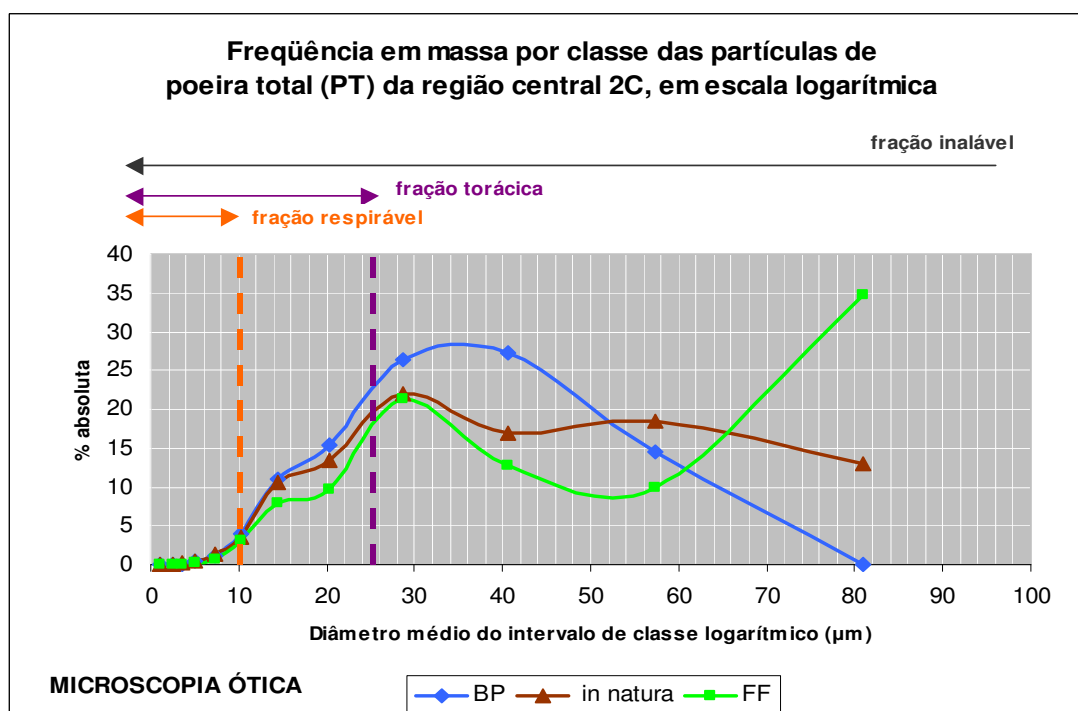


Gráfico 25: Correlação da freqüência em massa por classe das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

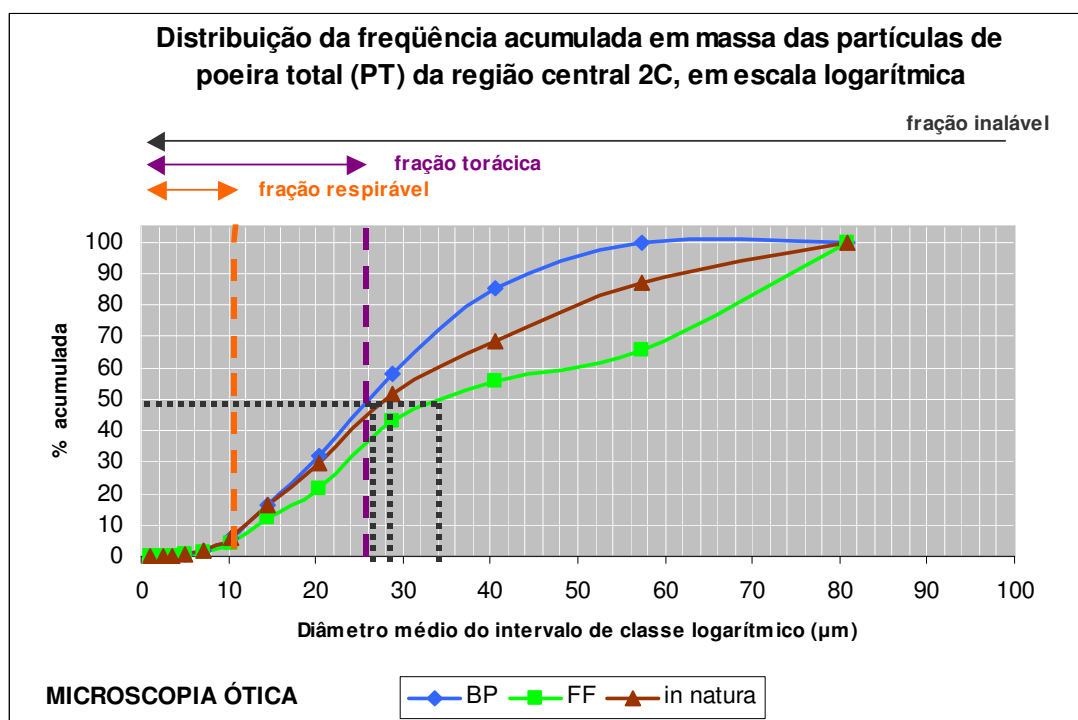


Gráfico 26: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT) da região central 2C, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico
(Fonte: A Autora, 2008)

Observando os dados apresentados no gráfico 25 com relação a freqüência de massa por classe, percebe-se que a curva apresentada para os três materiais é muito similar, estando a maior freqüência de massa por classe na fração inalável para todos os particulados analisados. Entretanto ocorreu uma pequena variação para o particulado proveniente de painéis de madeira com revestimento FF, que apresentou uma freqüência de 34,66% para partículas com diâmetro médio de 80,98 μm . Este fato pode ser considerado como uma ocorrência isolada não sendo caracterizado como comportamento geral do particulado sólido do aglomerado. Com relação aos dados apresentados no gráfico 26, da freqüência de massa acumulada, tem-se a maior representatividade de 50% para todos os particulados analisados na fração inalável, com variação do diâmetro médio entre 28,00 μm e 34,00 μm .

Segundo as informações obtidas na análise comparativa do particulado sólido do aglomerado proveniente de painéis *in natura* e de painéis aglomerado com revestimento BP e FF, pode-se perceber que quando se trata de contagem simples da quantidade de partículas coletadas tem-se uma maior representatividade na fração respirável, entretanto quando se trata de massa do particulado sólido, que representa o comportamento aerodinâmico do material, tem-se uma maior representatividade na fração inalável. É importante salientar que independente do acabamento BP ou FF, aplicado sobre o painel de madeira aglomerada, o particulado sólido analisado apresentou, de modo geral, o mesmo comportamento que o particulado proveniente dos painéis *in natura*.

Como particularidade, tem-se o particulado sólido proveniente de painéis com revestimento BP, que apresentou valores de freqüência de massa por classe e freqüência acumulada em massa, um pouco superior aos demais, fato que se deve provavelmente aos materiais formadores do painel com a colagem da película melamínica de revestimento; o mesmo fato justifica a ocorrência da freqüência em massa por classe de 34,66% para partículas com diâmetro médio de 80,98 μm provenientes de painel com revestimento FF, conforme descrito no item 2.3.4.1 da revisão de literatura.

4.10.4 Freqüência em número e freqüência em massa do particulado sólido do aglomerado na categoria de poeira respirável (PR)

Para realização da análise da distribuição de freqüência em número e freqüência em massa das partículas de poeira respirável (PR) foram utilizados os dados obtidos através dos filtros PR2 e PR4 analisados por microscopia ótica. Conforme recomendado pela NIOSH através do Method 0600 (NIOSH, 1998) e descrito no item 3.3.1 da metodologia de pesquisa para a coleta das amostras de poeira respirável foi utilizado um ciclone separador de partículas que permite a coleta apenas de partículas menores que 10 μm . Na tabela 32, tem-se os dados obtidos e organizados em 13 intervalos de classe de igual comprimento logarítmico, de acordo com o item 2.4.5.3 da revisão de literatura. Nos gráficos 27 e 28 tem-se respectivamente, a correlação da freqüência absoluta em número e da freqüência acumulada em número com o diâmetro médio no intervalo de classe logarítmico. A área de plotagem dos gráficos foram subdivididas em fração respirável para partículas até 10 μm e em fração torácica para partículas acima de 10 μm .

Tabela 32: Distribuição da freqüência em número das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA				
Número de partículas de poeira respirável (PR) em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio (μm)	Número de partículas (n)	Freqüência absoluta(%)	Freqüência acumulada (%)
0 a 1,91	0,96	468	12,73	12,73
1,92 a 2,19	2,06	7	0,19	12,92
2,20 a 2,51	2,36	23	0,63	13,55
2,52 a 2,88	2,70	10	0,27	13,82
2,89 a 3,31	3,10	49	1,33	15,15
3,32 a 3,80	3,56	1010	27,47	42,62
3,81 a 4,37	4,09	72	1,96	44,58
4,38 a 5,01	4,70	1	0,03	44,61
5,02 a 5,75	5,39	991	26,95	71,56
5,76 a 6,61	6,19	79	2,15	73,71
6,62 a 7,59	7,11	580	15,77	89,48
7,60 a 8,71	8,16	48	1,31	90,79
8,72 a 10,0	9,36	339	9,21	100,00
TOTAL		3677	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

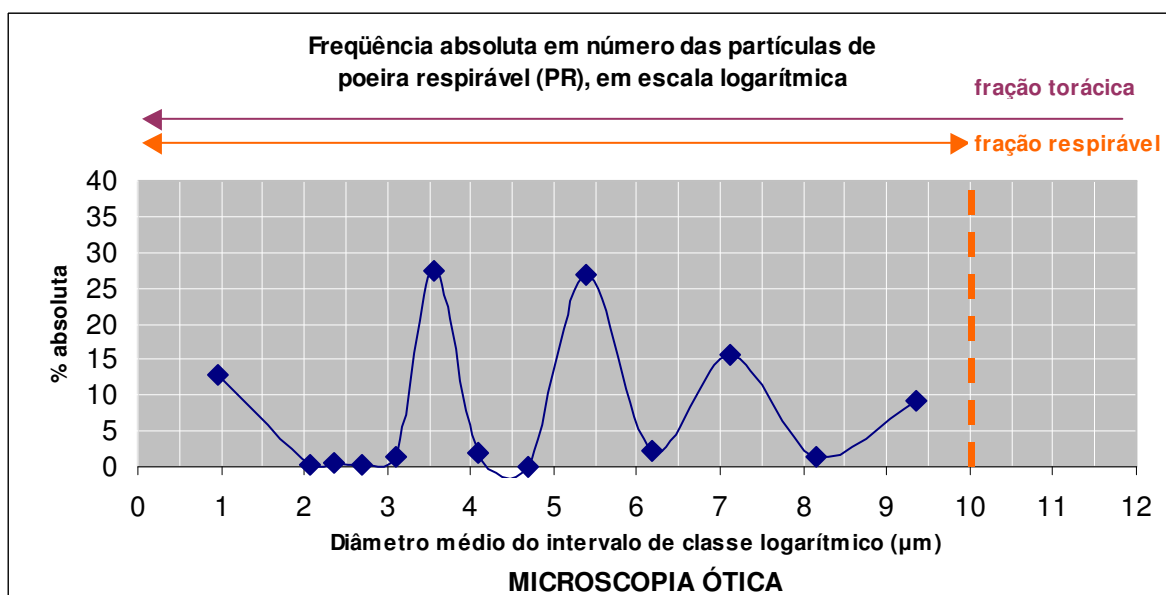


Gráfico 27: Correlação da freqüência absoluta em número das partículas de poeira respirável (PR) obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

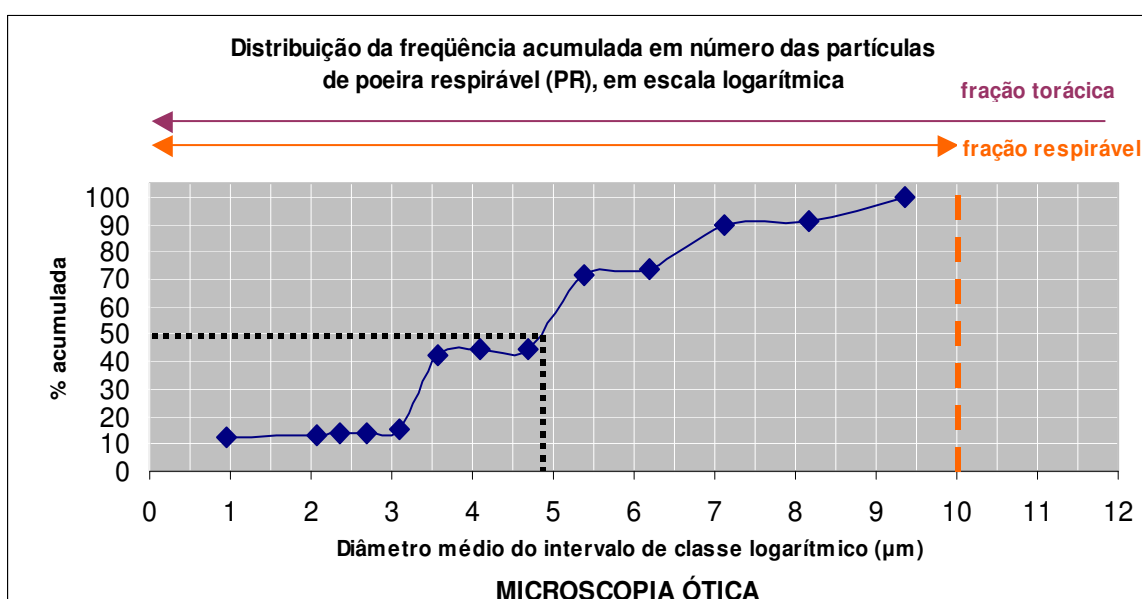


Gráfico 28: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em número das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

Com relação às distribuições da freqüência em número das partículas de poeira respirável (PR) apresentadas na tabela 32 e nos gráficos 27 e 28, pode-se observar que a maior freqüência absoluta de 27,47% está para partículas com diâmetro médio de 3,56 μm , seguida por uma freqüência de 26,95% para partículas com diâmetro médio de 5,39 μm . Da mesma forma, na distribuição de freqüência acumulada tem-se a representatividade de 50% para partículas com diâmetro médio de aproximadamente 4,90 μm .

Para efeito de análise estatística comparativa das partículas respiráveis, ou seja, aquelas com diâmetro de até 10 μm , também foram utilizados os dados das partículas de poeira total (PT) analisadas por microscopia ótica e situadas na fração respirável. Desta maneira, na tabela 33 tem-se a apresentação das partículas de poeira total (PT) com diâmetro de até 10 μm dos filtros PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E. Da mesma forma que os dados de poeira respirável (PR), os dados também foram divididos em 13 intervalos de classe de igual comprimento logarítmico. Nos gráfico 29 e 30 tem-se, respectivamente, a correlação da freqüência absoluta em número e da freqüência acumulada em número com o diâmetro médio de cada intervalo de classe, sendo que, área de plotagem dos gráficos foram subdivididas em fração respirável para partículas até 10 μm e em fração torácica para partículas acima de 10 μm .

Tabela 33: Distribuição da freqüência em número das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA				
Número de partículas de poeira total (PT), fração respirável, em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio (μm)	Número de partículas (n)	Freqüência absoluta (%)	Freqüência acumulada (%)
0 a 1,91	0,96	1352	9,66	9,66
1,92 a 2,19	2,06	6	0,04	9,70
2,20 a 2,51	2,36	110	0,81	10,51
2,52 a 2,88	2,70	147	1,08	11,59
2,89 a 3,31	3,10	340	2,50	14,09
3,32 a 3,80	3,56	3651	26,90	40,99
3,81 a 4,37	4,09	604	4,45	45,44
4,38 a 5,01	4,70	116	0,85	46,29
5,02 a 5,75	5,39	3290	24,54	70,83
5,76 a 6,61	6,19	358	2,64	73,47
6,62 a 7,59	7,11	1870	13,78	87,25
7,60 a 8,71	8,16	276	2,03	89,28
8,72 a 10,0	9,36	1455	10,72	100,00
TOTAL	13575		100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

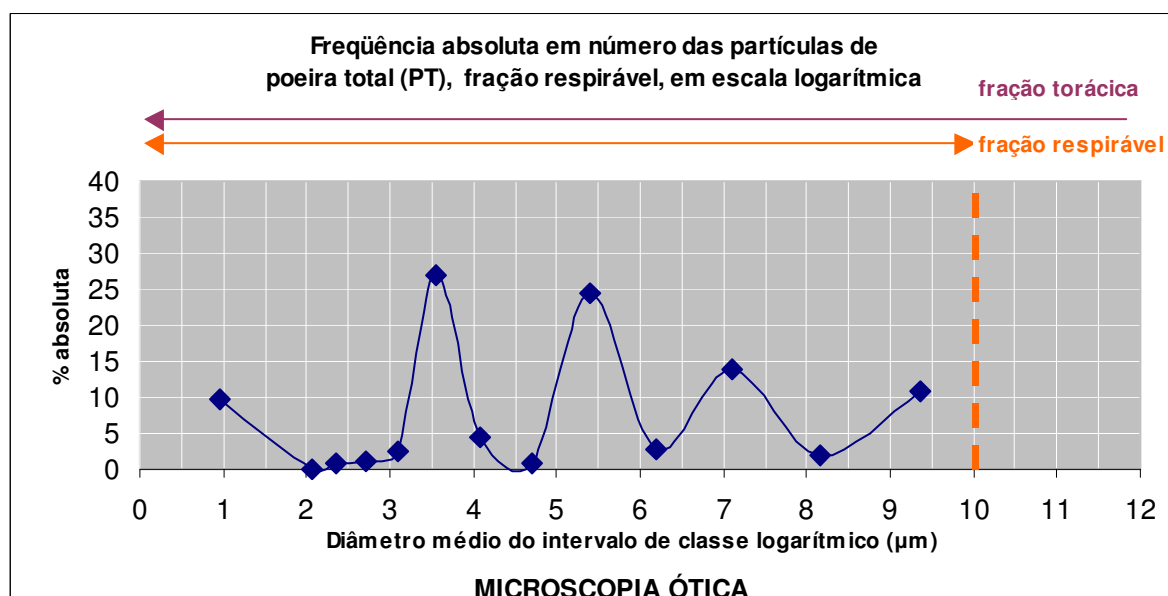


Gráfico 29: Correlação da freqüência absoluta em número das partículas de poeira total (PT), na fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico
(Fonte: A Autora, 2008)

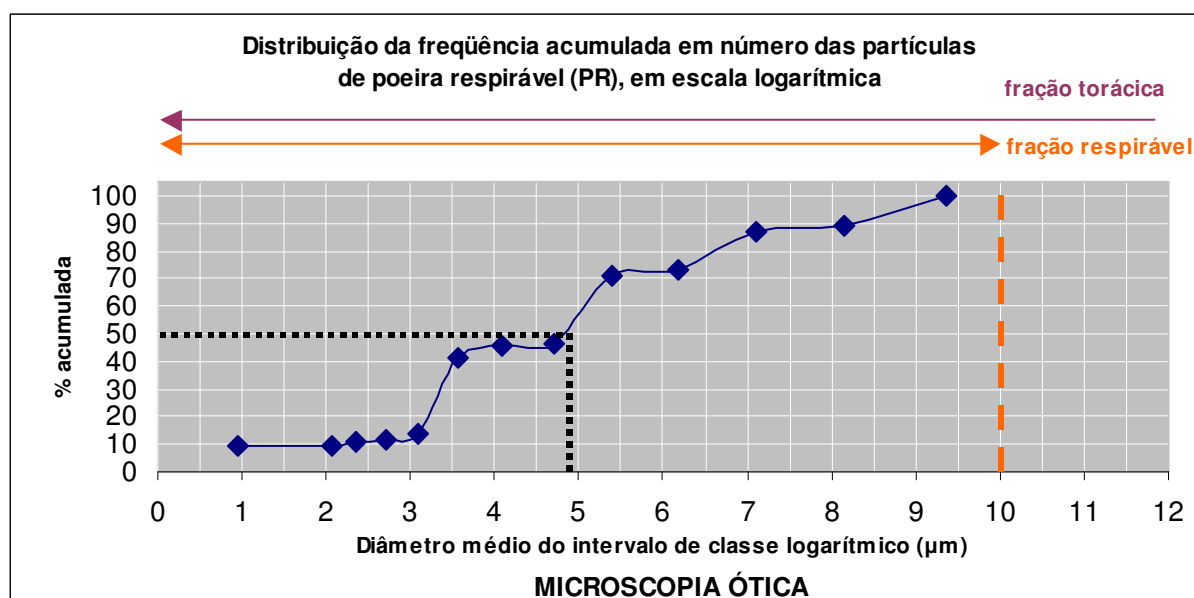


Gráfico 30: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em número das partículas de poeira total (PT), na fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico
(Fonte: A Autora, 2008)

Nos dados apresentados na tabela 33 e representados matematicamente nos gráficos 29 e 30, com relação à distribuição de frequência em número para as partículas de poeira total (PT) de até 10 μm , obteve-se a maior distribuição de frequência absoluta de 26,90% para as partículas com diâmetro médio de 3,56 μm , seguida pela partículas com diâmetro médio de 5,39 μm com uma frequência absoluta de 24,54%. Com relação a frequência acumulada, a representatividade de 50% está relacionada com as partículas com diâmetro médio aproximado de 4,9 μm .

Comparando as duas análises referentes à distribuição da frequência em número das partículas de poeira respirável (PR) e poeira total (PT) na fração respirável, respectivamente, obteve-se o mesmo valor para o diâmetro médio, seja para às frequências absoluta e acumulada. Desta forma, os dados obtidos através da fração respirável das partículas de poeira total (PT) só vieram a corroborar com os dados obtidos através das partículas de poeira respirável (PR), quando foram analisados apenas dois filtros PR2 e PR4, o que estatisticamente seria uma amostragem insuficiente para dar total credibilidade a análise efetuada.

Com relação à distribuição da frequência em massa, que de acordo com Santos (2005), item 2.4.5.3 da revisão de literatura, mais se aproxima ao comportamento aerodinâmico do aerodispersóide sólido disperso no ambiente de trabalho, tem-se na tabela 34 a apresentação dos dados obtidos a partir da análise dos filtros de poeira respirável PR2 e PR4. Sendo que a densidade utilizada para o cálculo da massa do particulado sólido do aglomerado foi de 640 kg/m^3 , valor representativo da densidade do painel de aglomerado de 15 mm, segundo apresentado no quadro 30. Da mesma forma, buscando estabelecer maior representatividade em análise estatística quantitativa de aerodispersóides sólidos, os valores obtidos foram organizados em 13 intervalos de classe de igual comprimento logarítmico, pois aproxima mais o resultado do comportamento aerodinâmico real das partículas sólidas.

Nos gráficos 31 e 32, têm-se respectivamente a representação da distribuição de frequência absoluta em massa e da frequência acumulada em massa das partículas de poeira respirável (PR), sendo que a área de plotagem dos gráficos foram divididas em fração respirável para partículas até 10 μm e fração torácica para partículas acima de 10 μm .

Tabela 34: Distribuição da freqüência em massa das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA				
Massa das partículas de poeira respirável (PR)				
em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (μm)	Diâmetro médio (μm)	Massa por classe (mg)	Massa por classe (%)	Massa acumulada (%)
0 a 1,91	0,96	5,77E-07	0,21	0,21
1,92 a 2,19	2,06	2,00E-08	0,01	0,22
2,20 a 2,51	2,36	3,01E-07	0,11	0,33
2,52 a 2,88	2,70	6,27E-08	0,02	0,35
2,89 a 3,31	3,10	4,06E-06	1,50	1,85
3,32 a 3,80	3,56	2,08E-05	7,68	9,53
3,81 a 4,37	4,09	2,85E-06	1,05	10,58
4,38 a 5,01	4,70	2,14E-06	0,79	11,37
5,02 a 5,75	5,39	5,72E-05	21,10	32,47
5,76 a 6,61	6,19	5,35E-06	1,97	34,44
6,62 a 7,59	7,11	7,92E-05	29,22	63,66
7,60 a 8,71	8,16	7,37E-06	2,72	66,38
8,72 a 10,0	9,36	9,12E-05	33,62	100,00
TOTAL		2,71E-04	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

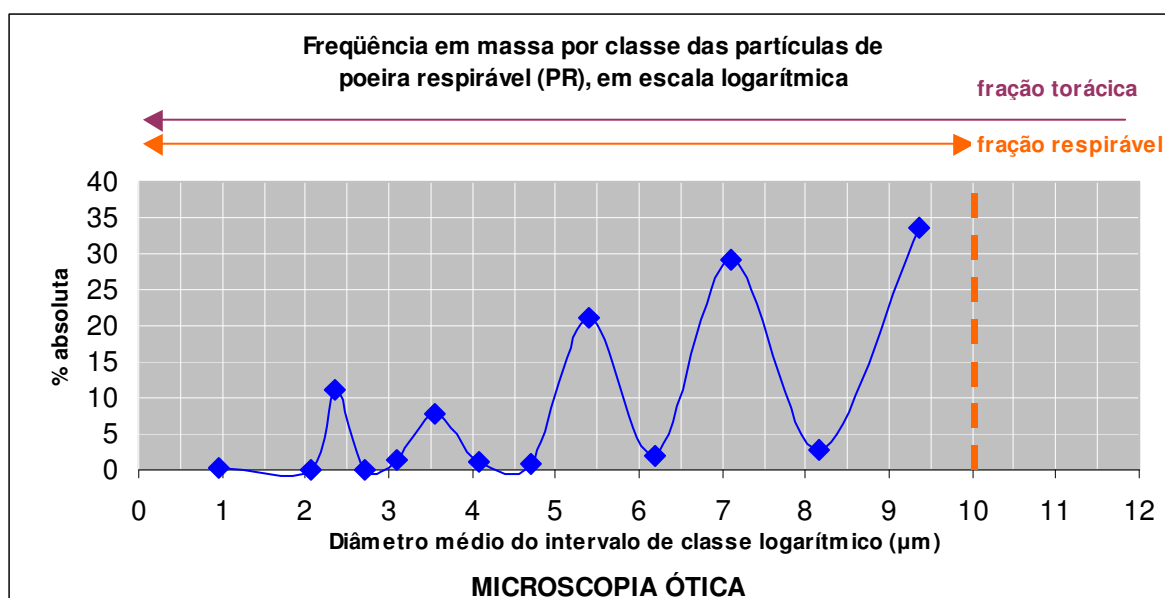


Gráfico 31: Correlação da freqüência em massa por classe das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

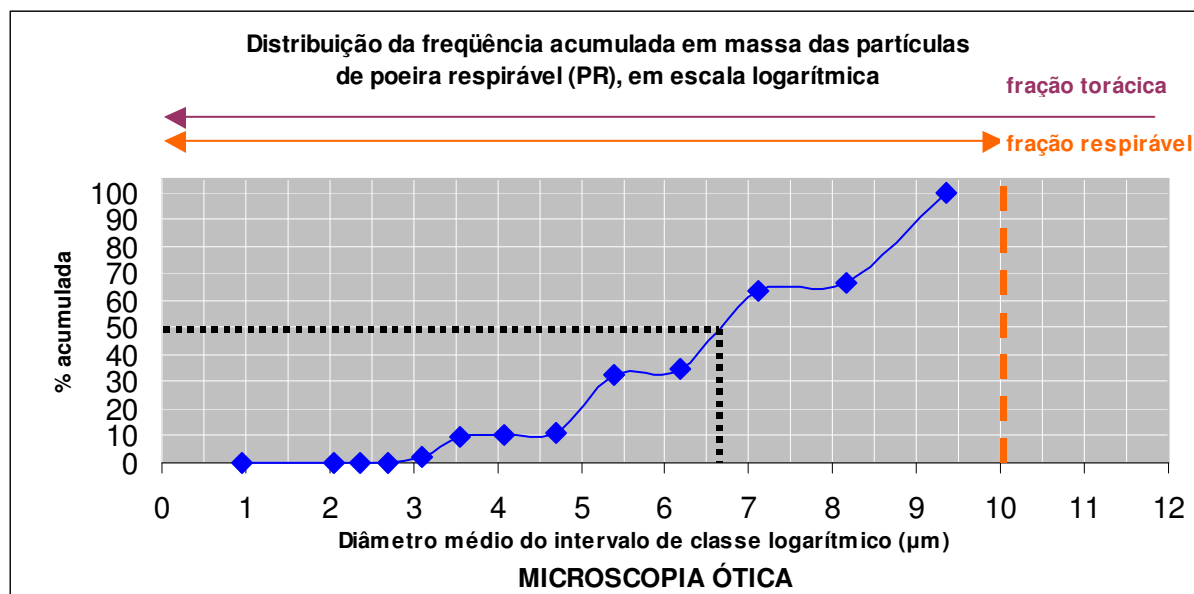


Gráfico 32: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira respirável (PR), obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico
(Fonte: A Autora, 2008)

Observando os dados apresentados na tabela 34 e nos gráficos 31 e 32, tem-se a maior freqüência de massa por classe 33,62% para partículas com diâmetro médio de 9,36 μm , seguida da representatividade de 29,22% para partículas com diâmetro médio de 7,11 μm . Com relação à freqüência acumulada por classe de 50% tem-se o valor do diâmetro médio aproximado de 6,6 μm .

O mesmo tipo de análise da distribuição da freqüência em massa foi realizada para as partículas de poeira total, dos filtros PT1A, PT2A, PT2D, PT3A, PT4A, PT4D, PT5A e PT5E, obtidas por microscopia ótica, considerando apenas a fração de partículas respiráveis, ou seja, aquelas com diâmetro de até 10 μm . Na tabela 35, tem-se relacionados os dados da distribuição da freqüência em massa, sendo que da mesma forma que os dados anteriores estes também foram divididos em 13 intervalos de classe de igual comprimento logarítmico. Nos gráficos 33 e 34 tem-se, respectivamente, a correlação da freqüência absoluta em massa por classe e da freqüência acumulada em massa com o diâmetro médio de cada intervalo de classe, sendo que, área de plotagem dos gráficos foram subdivididas em fração respirável para partículas até 10 μm e em fração torácica para partículas acima de 10 μm .

Tabela 35: Distribuição da frequência em massa das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, em intervalos de classe logarítmico

MICROSCOPIA ÓTICA				
Massa das partículas de poeira total (PT), fração respirável, em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico				
Intervalo de classe (µm)	Diâmetro médio (µm)	Massa por classe (mg)	Frequência absoluta (%)	Frequência acumulada (%)
0 a 1,91	0,96	2,44E-06	0,32	0,32
1,92 a 2,19	2,06	2,85E-09	0,00	0,32
2,20 a 2,51	2,36	1,66E-07	0,02	0,34
2,52 a 2,88	2,70	7,24E-07	0,09	0,43
2,89 a 3,31	3,10	1,92E-06	0,25	0,68
3,32 a 3,80	3,56	5,22E-05	6,83	7,51
3,81 a 4,37	4,09	7,65E-06	1,00	8,51
4,38 a 5,01	4,70	2,86E-06	0,38	8,89
5,02 a 5,75	5,39	1,48E-04	19,38	28,27
5,76 a 6,61	6,19	1,78E-05	2,32	30,59
6,62 a 7,59	7,11	1,78E-04	23,36	53,95
7,60 a 8,71	8,16	3,11E-05	4,07	58,02
8,72 a 10,0	9,36	3,21E-04	41,98	100,00
TOTAL		7,64E-04	100%	100%

(Fonte: A Autora, 2008)

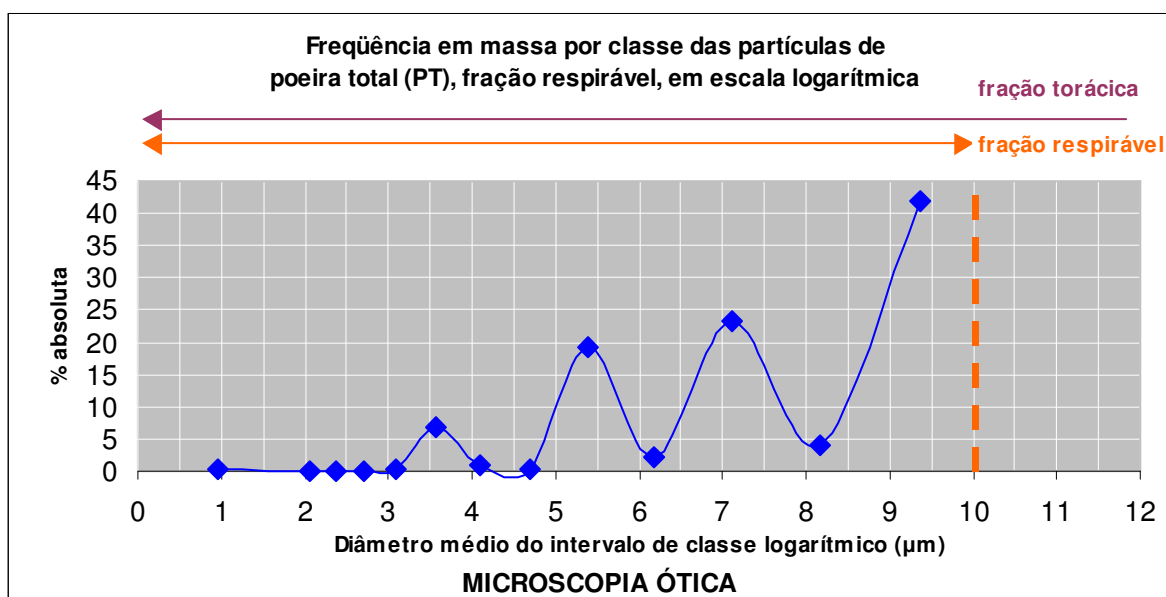


Gráfico 33: Correlação da frequência em massa por classe das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico (Fonte: A Autora, 2008)

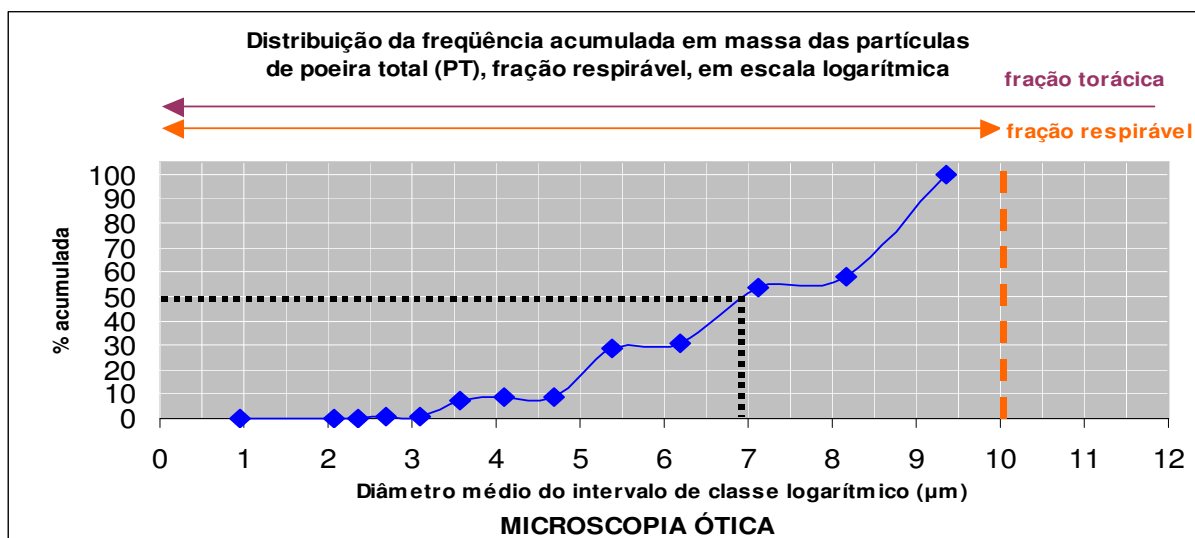


Gráfico 34: Correlação da distribuição de freqüência acumulada em massa das partículas de poeira total (PT), fração respirável, obtidas por microscopia ótica, com o diâmetro médio do intervalo de classe logarítmico
(Fonte: A Autora, 2008)

Analisando os dados apresentados na tabela 35 e nos gráficos 33 e 34, tem-se maior freqüência de massa por classe, 41,98%, para as partículas com diâmetro médio de 9,36 μm , seguida pela freqüência de 23,36% para partículas com diâmetro médio de 7,11 μm . Com relação à freqüência acumulada em massa tem-se a representatividade de 50% nas partículas com diâmetro geométrico aproximado de 6,9 μm .

Segundo os dados obtidos nas análises da distribuição de freqüência em massa para as partículas de poeira respirável (PR) e poeira total (PT) de até 10 μm , os valores foram iguais nas duas análises, sendo que para a freqüência por classe, a maior freqüência foi para partículas com diâmetro médio de 9,36 μm . Da mesma forma para a freqüência acumulada em massa a representatividade de 50% se apresentou para partículas com diâmetro médio aproximado entre 6,6 e 6,9 μm . Como a análise da freqüência em massa por classe é a que mais se aproxima do comportamento aerodinâmico das partículas em suspensão no ambiente de trabalho estes valores podem ser comparados com a porcentagem máxima de massa de particulado definido pela ACGIH (1998), ISO (1991) e CEN (1991), apresentados no quadro 15. Desta forma, para avaliação do limite de risco ocupacional, a representatividade máxima aceitável é de 17%, para partículas com diâmetro aerodinâmico de 6 μm , sendo que a representatividade encontrada nas análises

efetuadas foi três vezes superior a este limite. É importante salientar que segundo a ACGIH (1998), ISO (1991) e CEN (1991), para a fração respirável, a representatividade de 50% é aceitável para partículas de até 4 µm (quadro 15).

4.11 ANÁLISE ERGONÔMICA

A análise do aerodispersóide sólido do aglomerado a partir da ótica ergonômica visa melhorar a qualidade de vida para o trabalhador da indústria de base florestal, que está exposto a este tipo de particulado durante toda a sua jornada de trabalho e que na sua maioria não se preocupa com risco ocupacional inerente a esta exposição.

As partículas respiráveis são consideradas as mais perigosas para a saúde humana, pois possuem tamanho menor que 10 µm e não conseguem ser filtradas totalmente pelas vias aéreas superiores e chegam a penetrar nos pulmões. Dependendo da toxicidade estas partículas podem ser absorvidas pela corrente sanguínea ou podem ser sedimentadas pelas células macrófagas durante a fagocitose formando cicatrizes pulmonares ou a chamada fibrose pulmonar; sendo que, se causar a degeneração das células macrófagas pode haver o aparecimento de formações cancerígenas. Vale salientar que, quando o indivíduo possui algum tipo de obstrução nas fossas nasais, ele respira pela boca e desta maneira o ar inalado é direcionado diretamente aos pulmões.

O nível de toxicidade do particulado sólido pode variar de acordo com fatores ambientais pertinentes a atividade desenvolvida e de acordo com fatores humanos ou características intrínsecas a cada trabalhador. As variáveis ambientais pertinentes ao local de trabalho são: quantidade de concentração de partículas, sistema de exaustão existente sobre o maquinário, temperatura ambiente, umidade relativa e velocidade do ar; e as variáveis humanas ou condições físicas do trabalhador são: saúde, etnia, variabilidade individual ou suscetibilidade ao agente tóxico, sexo, idade e forma de realização das tarefas.

Desta forma os sintomas apresentados por cada trabalhador quando da inalação do particulado sólido tóxico pode variar desde alergias, cansaço, baixa capacidade pulmonar e bronquites até o endurecimento pleural, problemas cardíacos ou em órgãos isolados e carcinogêneres.

De modo geral, na indústria de base florestal quando ocorre o processamento de painéis de madeira aglomerada tem-se como resíduo do processo o aerodispersóide sólido do aglomerado, disperso no ar, em várias granulometrias. Deste resíduo uma parte é coletada pelo sistema de exaustão durante o processamento do painel, outra parte fica como resíduo físico no chão, próximo ao maquinário para posterior recolhimento e descarte e o restante fica disperso no ar do ambiente de trabalho, efetuando sua deposição com o passar do tempo através da gravidade.

Na presente pesquisa foi analisado o particulado sólido obtido a partir do corte retilíneo de painéis de madeira aglomerada com espessura média de 15 mm, efetuado por uma serra seccionadora. O quadro 36, apresenta a síntese dos valores obtidos para o limite de tolerância (LT) e para a concentração de partículas (C), relativos à fração de poeira total (PT) e à fração de poeira respirável (PR).

LIMITE DE TOLERÂNCIA (LT_p) E CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS (C_p) OBTIDOS NO AMBIENTE DE TRABALHO ANALISADO				
Especificação das informações levantadas	Valor médio obtido (mg/m^3)	Desvio padrão / dp (mg/m^3)	Parâmetro de comparação (mg/m^3)	Observações
Limite de tolerância específico para o particulado sólido do aglomerado = LT_{PT} (poeira total - PT)	$LT_{PT}=6,9994$	0,3073	$C_{PT}= 13,6553$	Segundo a ACGIH se $C_{PT} > LT_{PT}$ existe risco ocupacional
Limite de tolerância específico para o particulado sólido do aglomerado = LT_{PT} (material coletado sobre o maquinário)	$LT_P=6,9468$	0,2963	$C_{PT}=16,1069$	Segundo a ACGIH se $C_{PT} > LT_P$ existe risco ocupacional
Concentração de partículas coletadas = C_{PT} (poeira total - PT)	$C_{PT}=16,1069$	2,2966	$LT_{(ACGIH)} = 8,8$ $LT_{PT}= 6,9994$	Segundo a ACGIH se $C_p > LT_{ACGIH}$ ou LT_{PT} existe risco ocupacional
Concentração de partículas de poeira respirável = C_{PR} (poeira respirável - PR)	$C_{PR}= 2,4741$	0,3832	$LT_{(ACGIH)} = 2,64$ $LT_{PR}=3,6364$	Levando em conta o dp $C_{PR} > LT_{ACGIH}$ existe risco ocupacional
Limite de tolerância específico para o particulado sólido do aglomerado = LT_{PR} (poeira respirável-PR)	$LT_{PR}=3,6364$	***	$C_{PR} = 2,1569$	Segundo a ACGIH se $C_{PR} > LT_{ACGIH}$ ou LT_{PR} existe risco ocupacional
Onde: LT_{ACGIH} = Limite de tolerância da ACGIH para "particulado não classificado de outra maneira" (PNOC) *** = limite de tolerância definido a partir de uma amostra, portanto sem variação estatística				

Quadro 36: Síntese dos valores do limite de tolerância (LT) e da concentração de partículas (C) obtidos no ambiente de trabalho analisado na presente pesquisa (Fonte: A Autora, 2008)

O resíduo disperso no ar caracteriza a concentração de partículas pertinente ao ambiente de trabalho analisado, sendo dependente do tipo de processamento efetuado, do material processado e das condições ambientais existentes. Ocorre que durante a execução de suas atividades o trabalhador acaba por inalar o ar contendo resíduos de poeira sólida. Entretanto existe um limite máximo para a quantidade de poeira dispersa no ar do ambiente de trabalho, estabelecido mundialmente por órgãos da área de higiene ocupacional como ACGIH, NIOSH e OSHA, o qual deve ser respeitado nas questões laborais.

De acordo com os dados apresentados no quadro 36 existe risco ocupacional para o trabalhador exposto ao particulado sólido do aglomerado, na fração de poeira total (PT), pois a concentração de partículas encontrada no material amostrado (C_{pPT}) foi superior tanto, ao limite de tolerância calculado especificamente para o particulado sólido do aglomerado (LT_{pPT}), como ao limite de tolerância estabelecido pela ACGIH (LT_{ACGIH}).

Com relação aos valores obtidos para a fração de poeira respirável (PR), como foi realizada a análise em apenas uma amostra, não foi possível efetuar uma análise efetiva dos dados no cálculo do limite de tolerância específico para o particulado sólido do aglomerado (LT_{pPR}). Mas se for comparado a concentração de partículas (C_{pPR}) encontrada com o limite de tolerância estabelecido pela ACGIH (LT_{ACGIH}) tem-se valores muito próximos, o que indica potencial risco ocupacional para o trabalhador exposto ao particulado sólido do aglomerado na fração respirável.

A toxicidade do particulado sólido do aglomerado foi avaliado a partir da concentração de sílica cristalina e de formaldeído, sendo que na análise efetuada por EDS (Espectrômetro de Energia Dispersiva) foi detectado partículas contendo uma concentração de silício variando de 11,74% a 39,74% (tabela 20, pg.147).

De acordo com o OSHA (2002), na análise da concentração de sílica cristalina (C_s) em aerodispersóides sólidos, a maior importância está na caracterização das partículas na fração respirável, pois quando o ar inalado chega aos pulmões com este tipo de substância, ele pode promover a redução da capacidade respiratória e da elasticidade pulmonar, culminando por desenvolver silicose. Entretanto, é importante ressaltar que a gravidade da silicose depende também do tempo de exposição, ao agente agressor, que o trabalhador esteve sujeito, durante a atividade de trabalho.

No quadro 37 tem-se a síntese dos valores da concentração de sílica cristalina e de formaldeído no particulado sólido do aglomerado, obtidos a partir dos métodos de ensaio NMAM 7602 e NMAM 2016 (NIOSH, 2003).

CONCENTRAÇÃO DE SÍLICA (C_s) E CONCENTRAÇÃO DE FORMALDEÍDO (C_f) OBTIDOS NO AMBIENTE DE TRABALHO ANALISADO				
Especificação das informações levantadas	Concentração média (mg/m^3)	Desvio padrão / dp (mg/m^3)	Parâmetro de comparação (mg/m^3)	Observações
Concentração de sílica cristalina na amostra = C_s (poeira total - PT)	$C_s=0,0592$	0,0215	$LT_{(ACGIH)} = 0,022$	Segundo a ACGIH se $C_s > LT_{ACGIH}$ existe risco ocupacional
Concentração de sílica cristalina na amostra = C_s (poeira respirável - PR)	$C_s=0,0043$	***	$LT_{(ACGIH)} = 0,022$	Segundo a ACGIH se $C_s > LT_{ACGIH}$ existe risco ocupacional
Concentração de formaldeído na amostra = C_f (poeira total - PT)	$C_f=0,5904$	0,2021	$LT_{(ACGIH)} = 0,369$ $LT_{(NIOSH)} = 0,020$ $LT_{(OSHA)} = 0,923$	$C_f > LT_{ACGIH}$ caracterizado como substância A2 - suspeita de desenvolver câncer em seres humanos
Onde: $LT_{(ACGIH)}$ = limite de tolerância da ACGIH $LT_{(NIOSH)}$ = limite de tolerância NIOSH $LT_{(OSHA)}$ = limite de tolerância OSHA *** = concentração definida a partir de uma amostra, portanto sem variação estatística				

Quadro 37: Síntese dos valores da concentração de sílica (C_s) e concentração de formaldeído (C_f) obtidos no ambiente de trabalho analisado na presente pesquisa (Fonte: A Autora, 2008)

Segundo os resultados demonstrados no quadro 37, o particulado sólido do aglomerado apresentou na fração de poeira total (PT), concentração de sílica livre cristalina (C_s) 170% superior ao limite estabelecido pela ACGIH (LT_{ACGIH}), o que indica grande risco ocupacional para os trabalhadores expostos. Entretanto como este tipo de particulado possui dimensões maiores que $10 \mu m$, ou seja pertence a fração inalável pode ser eliminado pelo sistema de defesa do organismo humano, através das vias respiratórias superiores.

Na análise da fração de poeira respirável (PR) do particulado sólido do aglomerado a concentração de sílica cristalina (C_s), ficou 80% abaixo do limite de exposição estabelecido pela ACGIH (LT_{ACGIH}); estes dados indicam que grande parte do particulado é filtrado pelo sistema respiratório superior do ser humano, e não chega a penetrar nos pulmões.

Com relação ao formaldeído, foi detectado no particulado sólido do aglomerado uma concentração de formaldeído (C_f) 60% superior aos limites de

tolerância estabelecidos pela ACGIH (LT_{ACGIH}) e 195% superior ao limite estabelecido pela NIOSH (LT_{NIOSH}) descritos no quadro 8. Por outro lado, com relação ao limite de tolerância estabelecido pela OSHA (LT_{OSHA}) a concentração de formaldeído encontrada foi 36% inferior ao limite estabelecido. De acordo com a ACGIH se a concentração de formaldeído encontrada no material amostrado for superior ao limite estabelecido o material é caracterizado como substância A2, ou seja como suspeita de desenvolver carcinógenos nos seres humanos.

Entretanto, a toxicidade do formaldeído tende a ser mais potencializada no instante em que o particulado sólido desprende do painel de madeira aglomerada durante o processamento mecânico do material (corte, usinagem ou lixamento), pois ocorre o aquecimento da superfície trabalhada assim como do particulado produzido. Para determinar o grau de periculosidade do particulado sólido do aglomerado quanto à concentração de formaldeído (C_f) deve-se considerar: o tempo de exposição; a variabilidade intra-individual pois o trabalhador pode ser mais ou menos suscetível a substância; a eficiência do sistema de exaustão existente sobre o maquinário; e a distância do trabalhador ao maquinário.

Vale salientar que ocorreu, durante os dias de coleta das amostras, variação da temperatura e da umidade relativa do ar, com tendência de redução nos valores obtidos para a massa corrigida do particulado coletado sobre o filtro de membrana. Este tipo de comportamento do aerodispersóide sólido já havia sido comentado na pesquisa feita por Santos (2005), na qual descreve que o local de deposição da partícula depende do seu tamanho e da sua higroscopicidade, sendo que as partículas menores que 1 μm têm baixo índice de sedimentação pela gravidade.

Desta forma, a redução no valor da massa corrigida das partículas pode ser decorrente da coleta do aerodispersóide pelo sistema de exaustão situado sobre o maquinário. Por esta razão, é recomendado para as empresas do setor de base florestal, que utilizam no seu processamento painéis de madeira aglomerada que seja feita uma checagem na regulagem do sistema de exaustão nos dias quentes com baixa umidade do ar e nos dias frios com alta umidade relativa do ar, buscando melhorar a eficiência da coleta deste tipo de aerodispersóide no ambiente de trabalho.

Através da relação entre a quantidade de partículas e o seu diâmetro geométrico, pode-se determinar estatisticamente a frequência de aparecimento dos diversos tamanhos de partículas no material amostrado. Desta forma é possível

determinar se a periculosidade do particulado está na fração respirável com partículas com diâmetros de até 10 µm, na fração torácica com partículas com diâmetros de 10 a 25 µm ou na fração inalável com partículas com diâmetros acima de 25 µm.

O quadro 38 apresenta a síntese dos valores obtidos para a distribuição de freqüência absoluta e acumulada em número das partículas de poeira total (PT) obtidas pelas microscopias ótica e eletrônica e para as partículas de poeira respirável (PR) obtidas por microscopia ótica determinadas de duas formas: através da coleta do material com ciclone separador de partículas caracterizando os filtros como pertencentes à fração de poeira respirável (PR) e através da separação dos dados das partículas menores que 10 µm dos filtros da fração de poeira total (PT).

FREQÜÊNCIA EM NÚMERO DO PARTÍCULADO SÓLIDO DO AGLOMERADO OBTIDO NO AMBIENTE DE TRABALHO ANALISADO				
Especificação das informações levantadas	Tipo de análise	Freqüência (%)	Diâmetro médio das partículas (µm)	Observações sobre diâmetro médio das partículas
Freqüência absoluta em número (poeira total - PT)	microscopia ótica	22,56	3,62	< que 10 µm fração respirável
	microscopia eletrônica	31,61	6,51	< que 10 µm fração respirável
Freqüência absoluta em número (poeira respirável - PR)	microscopia ótica - partículas de poeira respirável	27,47	3,56	< que 10 µm fração respirável
	microscopia ótica - fração respirável das partículas de poeira total	29,90	3,56	< que 10 µm fração respirável
Freqüência acumulada em número (poeira total - PT)	microscopia ótica	50,00**	≈ 5,11	< que 10 µm fração respirável
	microscopia eletrônica	50,00**	≈ 5,00	< que 10 µm fração respirável
Freqüência acumulada em número (poeira respirável - PR)	microscopia ótica - partículas de poeira respirável	50,00**	≈ 5,00	< que 10 µm fração respirável
	microscopia ótica - fração respirável das partículas de poeira total	50,00**	≈ 5,00	< que 10 µm fração respirável
Onde: ** = freqüência acumulada de 50% das partículas, representatividade determinada para estudo de aerodispersóide sólido				

Quadro 38: Síntese dos valores da distribuição de freqüência em número obtidos no ambiente de trabalho analisado na presente pesquisa (Fonte: A Autora, 2008)

Com relação ao número de partículas sólidas analisadas, de acordo com quadro 38, a presente pesquisa obteve maior representatividade na fração respirável tanto para a distribuição de frequência absoluta como para a distribuição de frequência acumulada; ou seja, de acordo a análise efetuada existe uma maior quantidade de partículas com diâmetro geométrico menor que 10 μm , classificadas como pertencentes a fração respirável ou seja, as mais perigosas para organismo humano. Entretanto, cientificamente este tipo de análise resulta apenas na avaliação da quantidade e do tamanho das partículas existentes no ambiente de trabalho, não caracterizando o comportamento aerodinâmico do aerodispersóide sólido analisado.

Assim sendo, foi realizado o cálculo da distribuição de frequência em massa do particulado sólido do aglomerado coletado, pois é o valor mais representativo do comportamento aerodinâmico do particulado sólido quando em suspensão, sendo calculado a partir da interação da frequência em número de partículas com a densidade do material formador do particulado. Para a frequência acumulada em massa foi desenvolvida pela ACGIH uma tabela com os limites de frequência de partículas permissível para diversos valores de diâmetros aerodinâmicos, nas frações de poeira respirável, torácica e inalável (quadro 15, pg. 70).

O quadro 39 apresenta uma síntese dos valores obtidos para a distribuição de frequência em massa por classe e frequência acumulada em massa, subdivididos da mesma forma que na distribuição de frequência em número. Assim sendo, para a análise de poeira total (PT), a frequência em massa por classe de partículas ficou situada na fração inalável ou seja, com partículas maiores que 25 μm , entretanto ficou muito próxima ao limite aceitável na fração de poeira respirável (PR) ou seja 10 μm . Da mesma forma, pode-se observar que para a frequência em massa acumulada a representatividade de 50% ficou estabelecida na fração inalável, para a fração de poeira total (PT) mas abaixo da representatividade estabelecida pela ACGIH de 58% para um diâmetro médio de 29 μm . Por outro lado, na fração de poeira respirável (PR) a representatividade de 50% ficou situada no mesmo valor para os dois tipos de análises realizadas, mas muito acima do limite estabelecido pela ACGIH de 9% para o diâmetro médio de 7 μm (quadro 15, pg. 70), caracterizando uma quantidade muito elevada de massa de partículas na fração respirável, a mais perigosa para o organismo humano.

FREQÜÊNCIA EM MASSA DO PARTÍCULADO SÓLIDO DO AGLOMERADO OBTIDO NO AMBIENTE DE TRABALHO ANALISADO				
Especificação das informações levantadas	Tipo de análise	Freqüência (%)	Diâmetro médio das partículas (µm)	Observações sobre diâmetro médio das partículas
Freqüência em massa por classe (poeira total - PT)	microscopia ótica	19,09	28,73	> que 25 µm fração inalável
	microscopia eletrônica	18,98	80,98	> que 25 µm fração inalável
Freqüência em massa por classe (poeira respirável- PR)	microscopia ótica partículas de poeira respirável	36,52	36,56	> que 25 µm fração inalável
	microscopia ótica fração respirável das partículas de poeira total	33,62	9,36	< que 10 µm fração respirável
Freqüência acumulada em massa (poeira total - PT)	microscopia ótica	41,98	9,36	< que 10 µm fração respirável
	microscopia eletrônica	50,00**	≈ 29,00	de acordo com a ACGIH para diâmetro = 30 µm é permitido a representatividade de 58 %
Freqüência acumulada em massa (poeira respirável- PR)	microscopia ótica partículas de poeira respirável	50,00**	≈ 29,00	de acordo com a ACGIH para diâmetro = 30 µm é permitido a representatividade de 58 %
	microscopia ótica fração respirável das partículas de poeira total	50,00**	≈ 6,80	de acordo com a ACGIH para diâmetro = 7 µm é permitido a representatividade de 9 %
Freqüência acumulada em massa (poeira respirável- PR)	microscopia ótica fração respirável das partículas de poeira total	50,00**	≈ 6,90	de acordo com a ACGIH para diâmetro = 7 µm é permitido a representatividade de 9 %

Onde:
 ** = freqüência acumulada de 50% das partículas, representatividade determinada para estudo de aerodispersóide sólido

Quadro 39: Síntese dos valores da distribuição de freqüência em massa obtidos no ambiente de trabalho analisado na presente pesquisa (Fonte: A Autora, 2008)

Sintetizando os dados obtidos segundo as análises de distribuição de freqüência em número e de distribuição de freqüência em massa pode-se afirmar que o particulado sólido do aglomerado se caracteriza como um aerodispersóide de maior freqüência na fração de poeira respirável (PR). Estes resultados somados com as demais análises realizadas com relação a concentração de partículas e toxicidade relativa a sílica livre cristalina, indicam que o particulado sólido do aglomerado é um material potencialmente perigoso na fração de poeira respirável (PR) e passível de desenvolver doenças ocupacionais nos trabalhadores expostos.

Dentro do processo produtivo dos diversos setores da indústria de base florestal ocorre a necessidade de utilização e processamento de painéis de madeira aglomerada com diferentes tipos de acabamento. Desta forma também foi avaliado

se existe alguma diferenciação na freqüência em número e massa do particulado sólido do aglomerado proveniente de painéis sem acabamento superficial ou *in natura*, com acabamento melamínico ou BP e com acabamento *finish-foil* ou FF, na fração de poeira total (PT). O quadro 40 apresenta a síntese dos valores obtidos para a freqüência acumulada em número e freqüência acumulada em massa obtidos a partir da análise de painéis de madeira aglomerada com os acabamentos citados.

FREQUÊNCIA EM NÚMERO E EM MASSA DO PARTÍCULADO SÓLIDO DO AGLOMERADO OBTIDO NO AMBIENTE DE TRABALHO ANALISADO					
	Freqüência (%)	Diâmetro médio <i>in natura</i> (µm)	Diâmetro médio BP (µm)	Diâmetro médio FF (µm)	Observações sobre diâmetro médio
Freqüência acumulada em número (PT)	50,00**	≈ 9,00	≈ 9,00	≈ 9,00	< que 10 µm fração respirável
Freqüência acumulada em massa (PT)	50,00**	≈ 26,00	≈ 28,00	≈ 34,00	segundo a ACGIH para Ø = 30 µm é permitido a representatividade de 58 %
Onde: ** = freqüência acumulada de 50% das partículas, representatividade determinada para estudo de aerodispersóide sólido					

Quadro 40: Síntese dos valores de freqüência em número e em massa para particulado sólido do aglomerado obtido a partir de painéis *in natura*, BP e FF
(Fonte: A Autora, 2008)

De acordo com a quadro 40, para a freqüência acumulada em número, a representatividade de 50% permaneceu na fração respirável para os três tipos de acabamento, com partículas com diâmetro médio de 9 µm; da mesma forma, para a freqüência acumulada em massa a representatividade de 50% também permaneceu na fração inalável para os três tipos de acabamento, abaixo do limite estabelecido pela ACGIH (quadro 15, pg 70). Estes dados indicam que a periculosidade do particulado sólido do aglomerado detectada na presente pesquisa, independe do tipo de revestimento existente na superfície do painel de madeira aglomerada.

Assim sendo, de acordo com os dados apurados existe risco ocupacional para o trabalhador exposto por longo período de tempo ao particulado sólido do aglomerado. É importante ressaltar, que as amostras do particulado sólido do aglomerado utilizado na presente pesquisa foram coletadas a partir de um estudo de caso, em uma indústria de painéis de madeira aglomerada, visando minimizar algumas variáveis pertinentes ao processamento do material, mas o resultado obtido

é aplicável aos demais setores da indústria de base florestal, mais especificamente a indústria moveleira responsável pelo consumo de mais de 90% dos painéis de madeira aglomerada produzidos no Brasil.

Desta forma, alguns cuidados devem ser tomados pelas empresas do setor de base florestal mais especificamente pelas empresas do setor moveleiro quando efetuarem o processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada, buscando minimizar o risco ocupacional sofridos por seus empregados.

A redução da quantidade de particulado sólido produzido pela empresa até concentrações que não venham a ser prejudiciais aos trabalhadores é a forma mais eficiente de combater os potenciais riscos ocupacionais detectados. Todavia controlar a produção do aerodispersóide é um procedimento complicado dentro do processo produtivo, pois necessita de grandes investimentos na modernização do maquinário existente ou na compra de máquinas mais modernas dentro desta linha de desenvolvimento tecnológico.

Com resultado mais imediato, as empresa do setor moveleiro podem utilizar os sistemas de controle para aerodispersóide sólido disperso no ambiente de trabalho ou as também chamadas barreiras de segurança, que minimizam a exposição do trabalhador. Estes sistemas de controle podem ser efetuados de duas maneiras: na fonte de propagação do aerodispersóide e/ou diretamente no trabalhador que sofre a exposição.

Desta forma, como medida de controle do particulado sólido do aglomerado no local de trabalho é indicado a utilização de um sistemas de exaustão eficiente sobre o maquinário, que irá retirar do ambiente de trabalho a poeira no instante do seu processamento, e com ação combinada deve também ser instalado um sistema de exaustão geral na empresa buscando eliminar a poeira remanescente.

Por outro lado, o controle da exposição ao particulado sólido efetuado diretamente sobre o trabalhador vai depender da conscientização do indivíduo para a necessidade da utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's), que devem ser: fornecidos pela empresa, específicos para o agente agressor, adequados para o tipo de atividade e adaptáveis fisicamente para o trabalhador.

Todavia, a conscientização do trabalhador da indústria moveleira para o potencial risco do particulado sólido do aglomerado é um fato extremamente complicado, pois como a cultura deste tipo de indústria advém do conceito familiar, o trato com a matéria-prima sempre foi efetuado de determinada maneira e na visão

do trabalhador não há por que mudar. Sob esta ótica, os conceitos advindos da ergonomia organizacional são de grande valia, pois buscam analisar o processo produtivo tanto sob o foco da empresa como do trabalhador e indicam que a mudanças de conceitos arraigados culturalmente em uma empresa devem ser feitos de forma endógena, ou seja, de dentro para fora, a partir do nível de entendimento e conscientização do trabalhador e não pela imposição da organização.

Desta forma o trabalhador deve ser informado sobre os potenciais riscos de periculosidade do particulado sólido do aglomerado a partir de exemplos vivenciados diariamente, ou seja, mostrando que o particulado sólido do aglomerado permanece em suspensão no ar por algum tempo até sua deposição pela gravidade e que o espirro, a alergia ou os problemas do aparelho respiratório que muitos trabalhadores sofrem podem ser agravados com a inalação deste ar contaminado. Após o processo de conscientização do trabalhador, a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) será mais efetiva, pois o entendimento do problema se transformará em necessidade de proteção por parte dos indivíduos envolvidos no processo.

De forma genérica, os equipamentos de proteção individual (EPI's) devem ser plenamente adaptáveis aos trabalhadores, para não atrapalhar na realização das tarefas. Normalmente é indicado para a proteção dos trabalhadores a utilização de uniforme com calça e mangas compridas, botas, luvas maleáveis e capacete para que não ocorra o contato direto do agente tóxico com a epiderme do trabalhador. Entretanto com relação ao aerodispersóide sólido, deve-se dar bastante atenção à proteção das mucosas e vias aéreas superiores e para tanto é indicado o uso de óculos e máscaras ou respiradores. Os óculos devem possuir lentes interiças que assegurem a completa proteção do globo ocular, de amplo campo de visão e resistentes à impactos; a armação deve ser de material flexível e hipoalérgico e nas laterais deve possuir sistema de ventilação evitando o embaçamento e elástico para retenção a cabeça, permitindo perfeito ajuste. As máscaras também devem ser de material hipoalérgico e flexível, ajustável a face do trabalhador, possuir elástico para retenção na cabeça e devem permitir a troca periódica do sistema de filtros, visando fornecer ao indivíduo um ar livre de partículas de poeira sólida inclusive as pertencentes a fração respirável.

A utilização dos sistemas de controle ou barreiras de segurança contra o aerodispersóide sólido disperso no ambiente de trabalho irá minimizar o risco

ocupacional apresentado pelo particulado sólido do aglomerado aos trabalhadores do setor de base florestal. Desta forma, a atividade poderá ser desenvolvida de forma mais segura e eficiente, quem sabe até aumentando a produtividade das empresas através da redução dos afastamentos por problemas de saúde mais especificamente os problemas do aparelho respiratório.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou caracterizar o particulado sólido obtido a partir do processamento mecânico de painéis de madeira aglomerada, por meio de um estudo de caso em uma indústria fabricante de painéis de madeira, entretanto o resultado obtido é aplicável aos demais setores da indústria de base florestal. Sendo que, processamento mecânico é a denominação dada para a ruptura mecânica que ocorre em operações de corte, usinagem ou lixamento efetuadas em um material original sólido seco, neste caso os painéis de madeira aglomerada.

A principal característica de partículas sólidas proveniente de elementos orgânicos, como é o caso do particulado sólido do aglomerado, é ser suscetível a interferência externa, desta forma a coleta do aerodispersóide sólido do aglomerado ocorreu buscando minimizar as variáveis incontroláveis do seu processo de geração e o método de análise foi cuidadosamente planejado buscando não interferir na morfologia do material e conseqüentemente no resultado final. Assim sendo, o método de análise utilizado na presente pesquisa pode ser reproduzido e utilizado para analisar outros tipos de aerodispersóides com características similares.

Os painéis de madeira aglomerada são compostos a partir da união de partículas de *Pinus spp.* e resina uréia-formaldeído (UF) sob efeito de calor e pressão. Com efeito a maioria das análises efetuadas foram feitas a partir do particulado proveniente de painéis *in natura*, entretanto na comparação com as partículas provenientes de painéis aglomerados com revestimento BP e FF não foi determinada variação no resultado obtido.

Na análise da concentração de partículas na fração de poeira total (C_{pPT}), foi encontrado um valor 83% superior ao limite de tolerância estabelecido pela ACGIH, de $8,8 \text{ mg/m}^3$ para PNOC (particulado não classificado de outra maneira). Da mesma forma, quando a concentração de partículas na fração de poeira total (C_{pPT}), foi comparada com o limite de tolerância de $6,9994 \text{ mg/m}^3$ calculado especificamente para o particulado sólido do aglomerado (LT_{pPT}), a concentração de partículas se apresentou 130% superior ao limite estabelecido.

Na fração de poeira respirável (PR), ou seja fração de partículas com diâmetro médio de até $10 \mu\text{m}$, o valor da concentração de partículas (C_{mpPR}) encontrado ficou 6,5% abaixo do limite de tolerância estabelecido pela ACGIH, para

PNOC de $2,64 \text{ mg/m}^3$; e 32% abaixo do limite de tolerância calculado especificamente para o particulado analisado na fração respirável (LT_{pPR}), que foi de $3,6364 \text{ mg/m}^3$.

Buscando determinar a toxicidade do particulado sólido com relação a sílica livre cristalina, foi observado que a concentração de sílica na fração de poeira total (C_{sPT}) foi 170% superior ao limite estabelecido pela ACGIH. Por outro lado, na fração de poeira respirável a concentração de sílica cristalina foi 80% inferior ao limite estabelecido. Estes dados indicam grande concentração de sílica existente na fração de poeira total (PT), com partículas com diâmetro médio superior a $10 \mu\text{m}$, entretanto estas partículas são passíveis de filtragem pelo sistema respiratório superior do organismo humano e não chegam a penetrar nos pulmões dos trabalhadores expostos.

Na análise referente à toxicidade do formaldeído, foi determinado uma concentração de partículas (C_f) 60% superior ao limite de tolerância estabelecido pela ACGIH (LT_f) de $0,369 \text{ mg/m}^3$, caracterizando o particulado sólido do aglomerado com potencial para desenvolver carcinogêneres através da exposição ocupacional durante vários anos consecutivos.

Com relação a granulometria do particulado sólido do aglomerado coletado, a maior representatividade ficou estabelecida na fração de poeira respirável (PR), com a frequência em número de 50% das partículas medindo até $5,00 \mu\text{m}$ de diâmetro. Entretanto se for considerado o comportamento aerodinâmico das partículas, ou seja, a frequência de partículas em suspensão no ar, a representatividade de 50% ficou determinada para partículas com diâmetro médio de $29,00 \mu\text{m}$ na fração de poeira total (PT) e para partículas com diâmetro médio de $6,80 \mu\text{m}$ na fração de poeira respirável (PR).

Assim sendo o aerodispersóide sólido do aglomerado foi caracterizado como um particulado com potencial risco ocupacional para o trabalhador exposto por vários anos consecutivos, principalmente por causa da concentração de formaldeído encontrada no material e por apresentar uma grande frequência de partículas na fração respirável.

Portanto, medidas preventivas de proteção contra os efeitos nocivos da inalação do particulado sólido do aglomerado devem ser tomadas, tanto no que tange às ações por parte das empresas como por parte dos trabalhadores. Para as empresas, medidas de controle devem ser efetuadas na fonte de propagação e para

os trabalhadores é indicado a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) específicos para este tipo de particulado.

Análises para caracterização de aerodispersóides sólidos devem ser realizadas de forma específica para cada tipo de material, pois depende do seu tamanho, higroscopicidade e massa específica. Entretanto o aerodispersóide sólido é um resíduo que faz parte do desenvolvimento tecnológico de diversos setores industriais e desta forma não se deve desconsiderar o risco ocupacional de nenhum tipo de particulado sólido antes da sua efetiva comprovação.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Delinear os problemas de saúde ocupacional inerentes ao trato respiratório dos trabalhadores do setor de base florestal que na realização de suas tarefas processam mecanicamente grande quantidade painéis de madeira aglomerada;
- Estudo específico com o particulado sólido seco proveniente de outros tipos de painéis de madeira industrializada como o *Medium Density Fiberboard* (MDF) e o *Oriented Strand Board* (OSB), pois espera-se que venham apresentar resultados diferenciados dos obtidos na presente pesquisa;
- Delinear os problemas de saúde ocupacional inerentes ao trato respiratório dos trabalhadores do setor de base florestal que na realização de suas tarefas processam mecanicamente outros tipos de painéis de madeira reconstituída como o *Medium Density Fiberboard* (MDF) e o *Oriented Strand Board* (OSB);
- Análise do sistema de exaustão de empresas do setor de base florestal, buscando melhorar a eficiência do processo de coleta de partículas sólidas dispersas no ambiente de trabalho, em dias quentes com baixa umidade do ar e em dias frios com alta umidade relativa do ar;
- Buscar caracterizar de forma mais específica a porcentagem de sílica livre cristalina no particulado sólido do aglomerado, na fração de poeira respirável (PR), através da análise de uma quantidade maior de amostras, com o objetivo de confirmar de forma mais contundente o limite de exposição para o particulado sólido na fração respirável (LT_{PR}).

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E.; LATORRACA, J. *Colagem varia de acordo com propriedades da madeira*. Revista da madeira, n° 88. Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 9 nov. 2005.

ABRAHAO, Júlia Issy; PINHO, Diana Lúcia Moura. *As transformações do trabalho e desafios teórico-metodológicos da Ergonomia*. Estud. psicol. (Natal), Natal, v. 7, n. spe, 2002 Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 20 fev 2006.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS - ACGIH. *Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*. Cincinnati, 1991. Disponível em: <<http://www.acgih.org>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Threshold Limit Values*. Cincinnati, 1998 Disponível em: <<http://www.acgih.org>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*. Cincinnati, 2006. 236p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. *D907-06 Standard Terminology of Adhesives*. USA, 2007. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em: 13 out. 2006.

_____. *ASTM D4690-99. Standard Specification for Urea-Formaldehyde Resin Adhesives*. USA, 2005. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em: 13 out. 2006.

_____. *ASTM E112-96. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*, (Reapproved 2004). USA, 2004. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em: 13 out. 2006.

_____. *ASTM E1382-97. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis*, (Reapproved 2004). USA, 2004. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em: 13 out. 2006.

ARANTES, Aloysio Sergio. *Padronização participativa nas empresas de qualidade*. São Paulo: Nobel, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *Ficha de informações de segurança de produtos químicos: NBR 14725:2001*. [S.l.]. Brasil, 2001. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 13 out. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI, *Indicadores Sócio-Econômicos da Indústria de Base Florestal e da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente*. Brasil, 2007. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 20 fev 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO – ABIMÓVEL, *Panorama do Setor Moveleiro Brasileiro: de onde Viemos e Conjuntura Atual*. Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.abimovel.org.br>>. Acesso em: 08 set. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO – ABIMÓVEL, *Dados Setoriais*. Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.abimovel.org.br>>. Acesso em: 08 fev 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA, Brasil. *Dados Setoriais*. Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 5 out. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE MADEIRAS – ABPMEX. *Dados Setoriais*. Brasil, 2007. Disponível em: <<http://www.abpmex.com.br>>. Acesso em: 20 set. 2007.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES, *Dados Setoriais*. Brasil, 2004. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 20 set. 2007.

BARRICHELO, Luiz Ernesto George. *Pinus caribaea var. hondurensis – Principais Características da Madeiras sob o Ponto de Vista Tecnológico*. IPEF Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais: Circular Técnica N° 85. Piracicaba, Jan/1980.

BURGER, Luiza Maria; RICHTER, Hans Georg. *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel, 1991.

CARBALLEDA, Gabriel. *Uma contribuição possível dos ergonomistas para a análise e a transformação da organização do trabalho*. In: DUARTE, Francisco. (Org.) *Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo*. Rio de Janeiro: Editora Lucerna, 2001. p. 281- 297.

CLELAND, D. I.; IRELAND, L. R. *Gerência de Projetos*. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2002.

COMITÉ EUROPEÉN DE NORMALISATION – CEN. *EN 1822-2:1998 High efficiency air filters (HEPA and ULPA) - Part 2: Aerosol production, measuring equipment, particle counting statistics*. Bruxelas, 1998. Disponível em: <<http://www.cen.eu/cenorm/aboutus/index.asp> >Acesso em: 20 set. 2007

COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPÉIA – CEE. *Classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas*. Bruxelas, 2006. Disponível em: <<http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l21276.htm>>. Acesso em: 20 set. 2007.

COUTO, Hudson de Araújo. *Ergonomia aplicada ao trabalho: o manual da máquina humana*. Belo Horizonte: Ergo, 1995. v. 2.

DEJOURS, Christophe. *A loucura do trabalho: Estudos de psicopatologia do trabalho*. 5. ed. São Paulo: Cortez-Obor's, 1992.

DETONI, Dimas José; MERINO, Eugênio Andréz Díaz. *Modelos de avaliação da qualidade de vida no trabalho*. In: VII Congresso Latino-Americano de Ergonomia - Abergó. Recife: UFP, 2002. 1CD - ROM.

DIBELLA, A. J.; NEVIS, E. C. *Como as organizações aprendem: uma estratégia integrada voltada para a construção da capacidade de aprendizagem*. São Paulo: Educator, 1999.

ECKES, George. *A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processo em lucro*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

ERGONOMICS RESEARCH SOCIETY. USA. Disponível em: <<http://www.ergonomics.org.uk>>. Acesso em 5 out. 2007.

FENGEL, Dietrich; WEGENER, Gerd. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin/New York: de Gruyter, 1989.

FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

FIALHO, Francisco; SANTOS, Néri. *Manual da análise ergonômica no trabalho*. Curitiba: Gênese, 1997.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C.W. *Principles of Unit Operations*, 2nd.ed. [S.I.] , John Wiley & Sons, 1980.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO – FUNDACENTRO. *NHT 02 - Avaliação da exposição ocupacional a aerodispersóides, amostragens individuais*. Norma de Higiene do Trabalho. Brasil, 2001.

_____. *NHO 03 - Análise Gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros de membrana*. Norma de Higiene Ocupacional. Brasil, 2001.

GALLETI, Silvia Regina. *Introdução a Microscopia Eletrônica*. Instituto Biológico, São Paulo, v 65, n 1/2, p 33-35, jan./dez. 2003.

GONÇALVES, José Ernesto Lima. *As empresas são grandes coleções de processos*. RAE - Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v.40, n.1, p.6-19, jan./mar. 2000. Disponível em : <<http://www.rae.com.br>>. Acesso em:15 mai. 2002.

GOMIDE, R. *Operações Unitárias*. São Paulo : R. Gomide, vol 1,1991.

_____. _____. São Paulo : R. Gomide, vol 3, 1991.

GÚERIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F. *Compreender o trabalho para transforma-lo: a prática da ergonomia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

HASELEIN, C. R. ; LOPES, M. C. ; SANTINI, Elio José ; LONGHI, Solon Jonas; ROSSO, Silvana ; FERNANDES, Denis L G ; MENEZES, L. F. *Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de Eucalyptus Grandis*. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HON, David; SHIRAIISHI, Nobuo. *Wood and cellulosic chemistry*. New York: Marcel Dekker, Inc.,2001.

IIDA, Itiro. *Ergonomia Projeto e produção*. 2ª. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

ISHIKAWA, Kaoru. *Controle de qualidade total: à maneira japonesa*. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Relatório Setorial*. Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 20 set. 2007.

_____. *Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)*. Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 20 set. 2007.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER – INCA. *Relatório de substâncias tóxicas*. Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.inca.gov.br>>. Acesso em: 9 nov. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. *Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial. Prospectiva Tecnológica da Cadeia produtiva madeira e móveis*. Divisão de Produtos Florestais. São Paulo: 2002. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2008.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION – ISO. *Air Quality – Particle Size Definitions for Health-related Sampling*. Technical Report ISO/TR 7708-1995. Genebra, 1995. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/isso>>. Acesso em: 14 de nov 2006.

IWAKIRI, Setsuo. *Painéis de Madeira Reconstituída*. Curitiba: FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005.

KLOCK, Umberto. *Química da Madeira*. Notas de Aula, UFPR: Curitiba, 2004.

KOCH, Peter. *Utilization of the southern pines*. Washington: Department of Agriculture Forest Service, 1972. v. 1, p. 734.

_____. _____. Washington: Department of Agriculture Forest Service, 1972. v. 2, p. 884.

LIMA, Maria Margarida T. L. e CAMARINI, Gladis. *Método de Determinação da Sílica Cristalina na Poeira dos Processos de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos*. Cerâmica Industrial, número 11, p 21 a 27, julho / agosto 2006. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br>>. Acesso em 18 de outubro de 2007

MARRA, Alan. *Technology of wood bonding: Principles in Practice*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

McCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOT, P. *Unit operations of chemical engineering*. 5th Ed. McGraw Hill, USA 1993.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO – MDIC. *Relatório Setorial*. Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br>>. Acesso em: 13 nov. 2006.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Atividades e Operações Insalubres: NR15 – 115.000-6*. Brasil, 2001. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_Regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Programa de Prevenção de Riscos Ambientais: NR9 – 109.000-3*. Brasil, 1994. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_09_at.pdf>. Acesso em: 5 out. 2005.

MONTMOLLIN, Maurice de. *A Ergonomia*. Lisboa: Instituto Piaget, 1990.

MORAIS, Sérgio Antonio Lemos; NASCIMENTO, Evandro Afonso; MELO, Darley Carrijo. *Análise da madeira de pinus oocarpa: estudos dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis*. Revista Árvore, Viçosa, v.29, n.3, p. 461-470, 2005.

MORESCHI, João Carlos. *Propriedades das Madeiras*. Notas de Aula, UFPR: Curitiba, 2004.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY HEALTH - NIOSH. *Manual of Analytical Methods - NMAM*. USA, 1994. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/method-c.html>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Permissible Exposure Limit*. USA, 1994. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Method 2016. Formaldehyde*. NMAM, USA, 2003. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Method 7602. Sílica, Crystalline by IR (K BR pellet)*. NMAM, USA, 2003. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Method 500. Particulates not Otherwise Regulated, Total, Issue 2*. NMAM, USA, 15/08/1994.. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Method 600. Particulates not Otherwise Regulated, Respirable, Issue 3*. NMAM, USA, 15/01/1998. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Information Resources*. USA, 1994. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Documentation of the threshold limit values*. USA, 1992. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh>>. Acesso em: 5 out. 2005.

_____. *Documentation of Formaldehyde*. USA, 2005. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/method-c.html>>. Acesso em: 5 out. 2005.

OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION - OSHA. *Exposición a la sílica cristalina*. USA, 2002. Disponível em: <<http://www.osha.gov/publications/3179-2002>>. Acesso em: 5 out 2005.

_____. *Formaldehyde*. USA, 2002. Disponível em: <<http://www.osha.gov>>. Acesso em: 5 out 2005.

_____. *Gravimetric Determination. PV 2121/ Partially Validated 2121*. USA, 2003. Disponível em: <<http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc.html>>. Acesso em: 5 out 2005.

_____. *Permissible Exposure Limit*. USA, 1994. Disponível em: <<http://www.osha.gov>> Acesso em: 5 out 2005.

OLYMPUS CORPORATION. Disponível em: <<http://www.olympus-global.com/en/global>>. Acesso em: 20 out. 2007.

PINHEIRO, A. L. *Considerações sobre a taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia e qualidade da madeira*. Viçosa: SIF, 1999. v. 500, p.144.

PIZZI, Antonio. *Wood adhesives: Chemistry and technology*. New York: Marcel Dekker, Inc.,1983.

POLZL, Willian Borelli. *Eficiência Produtiva e Econômica do Segmento Industrial da Madeira Compensada no Estado do Paraná*. Dissertação (Mestrado) - UFPR Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2002. Disponível em: <<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/polzl,wb.pdf>>. Acesso em: 6 out 2005.

RIVER, Bryan; VICK, Charles; GILLESPIE, Robert. *Wood as an adherend*. New York: Marcel Dekker, Inc.,1991.

SALIBA, Tuffi Messias. *Manual prático de avaliação e controle de poeira e outros particulados – PPRA*. São Paulo: LTr, 2002.

SANJUAN DUENAS, Rubén. *Obtencion de pulpas y propiedades de las fibras para papel*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, 1997.

SANTOS, A. M. A. *O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho*. São Paulo: FUNDACENTRO, 2001.

_____. *Exposição ocupacional a poeiras em marmorarias: Tamanhos de partículas características*. 2005. Tese (Doutorado) - UFMG, Programa de Pós-Graduação em engenharia metalúrgica e de Minas. Belo Horizonte, 2005. Disponível em:<http://www.fundacentro.gov.br/dominios/CTN/teses_conteudo.asp?retorno=120>. Acesso em: 20 agosto. 2007.

SANTOS, Néri dos; DUTRA, Ana Regina de Aguiar; RIGHI, Carlos Antonio Ramirez. *Antropotecnologia : a ergonomia dos sistemas de produção*. Curitiba: Gênese, 1997.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 1997.

SUL AMERICANA EQUIPAMENTOS. Disponível em: <http://www.sae-sulamericana.com.br/produtos_detalhes.asp?id_prod=80>. Acesso em: 20 out. 2007.

WISNER, Alain. *Por dentro do trabalho: Ergonomia: método e técnica*. São Paulo: FTD, 1987.

APÊNDICE A

APÊNDICE B

APÊNDICE C

ANEXO A