



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus Experimental de Itapeva

FERNANDA MARIA ALMEIDA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERIOR COM ÊNFASE NA
CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO SÓLIDO EM
SUSPENSÃO: estudo de caso em ambientes laboratoriais da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus
Experimental de Itapeva**

Itapeva - SP
2016

FERNANDA MARIA ALMEIDA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERIOR COM ENFÂSE NA
CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO SÓLIDO EM
SUSPENSÃO: estudo de caso em ambientes laboratoriais da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus
Experimental de Itapeva**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus Experimental de Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Batagin Neto
Co-orientador (a): Prof.^a Dr.^a Maria Angélica Martins Costa

Itapeva - SP
2016

Almeida, Fernanda Maria.

A447a Análise de qualidade do ar interior com ênfase na concentração de material particulado sólido em suspensão: estudo de caso em ambientes laboratoriais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus Experimental de Itapeva / Fernanda Maria de Almeida. – – Itapeva ,SP, 2016.
77 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado – Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus Experimental de Itapeva, 2016

Orientador: Augusto Batagin Neto

Coorientadora: Maria Angélica Martins Costa

Banca examinadora: Juliana Esteves Fernandes Cieslinski,
Francisco de Almeida Filho

Bibliografia

1. Qualidade do ar de interiores. 2. Partículas. 3. Laboratórios. I. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva. II. Título.

CDD 628.53

Dedico este trabalho aos meus pais, Moacir Corrêa de Almeida (in memoriam) e Maria da Conceição Almeida, por toda sua dedicação, paciência e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, ao autor da vida, pelo dom da sabedoria e por todas as bênçãos derramadas sobre o meu caminho durante esses anos todos.

Aos meus pais, Moacir Corrêa de Almeida (*in memoriam*) e Maria da Conceição Almeida, aos quais eu tenho muito orgulho e admiração, obrigado por tudo, pela dedicação, amor incondicional, apoio, incentivo, paciência e por todos os valores que me ensinaram.

Sou grata as minhas irmãs, sobrinhos, cunhados e demais familiares, por todo o apoio e carinho, por sempre acreditarem em mim e sempre compreenderem os momentos de minha ausência dedicada aos estudos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Augusto Batagin Neto e Co-orientadora Prof.^a Dr.^a Maria Angélica Martins Costa, que não mediram esforços em me ajudar, muito obrigado pela orientação, apoio, paciência, motivação, confiança e ensinamentos.

Aos técnicos dos laboratórios, Francisco de Almeida Filho, Juscelino de Jesus Pereira Melo, Juliano Rodrigo de Brito, David José Tenório de Aquino e Tiago Matos Andrés, por todo o auxílio prestado na parte experimental.

A todos os professores e funcionários desta unidade, por me proporcionarem o conhecimento necessário e contribuírem de forma significativa para minha carreira profissional.

A todos os amigos e colegas feitos durante todo o período de graduação e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

A questão da qualidade do ar é um problema de caráter mundial que tem despertado a atenção da comunidade científica e dos órgãos de saúde pública. A exposição humana a elevados índices de poluição é responsável pelo desencadeamento de inúmeros distúrbios, incluindo problemas crônicos, asma, câncer de pulmão, catarata e isquemias cardíacas. Em meio à mudança de estilo de vida adotada pela sociedade moderna, onde as pessoas tendem a permanecer a maior parte da sua rotina diária do seu tempo em recintos fechados, surge a grande preocupação com a qualidade do ar interior (QAI). Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas a fim de avaliar a QAI a partir da caracterização dos poluentes presentes no ar. Tendo em vista o risco associado à exposição a diferentes substâncias as quais alunos e professores se encontram diariamente expostos durante a execução de suas atividades em instituições de ensino, este trabalho se propôs a realizar uma análise da qualidade do ar com ênfase na caracterização da concentração e diâmetro de material particulado em suspensão, em ambientes externos e internos de três ambientes laboratoriais: Laboratório de Serraria e Beneficiamento, Laboratório de Usinagem e Automação e Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental, todos localizados na Universidade Estadual Paulista, Câmpus Experimental de Itapeva-SP. Os equipamentos utilizados para as amostragens de material particulado foram o DataRam 4, modelo DR 4000 (DR4) e o Impactador de Cascata *Andersen* de oito estágios (IMPAC8). O laboratório de Serraria e Beneficiamento foi o ambiente que apresentou as maiores emissões de particulados, sendo a maior média de concentração das partículas obtida na amostragem 2, atingindo um valor médio de 81, 79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ultrapassando os padrões de referência de qualidade do ar interior estabelecido pela ANVISA (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em um período de 24 horas).

Palavras-chave: Material Particulado. Qualidade do Ar Interior. Laboratórios.

ABSTRACT

The issue of air quality is a global character problem that has attracted the attention of the scientific community and public health agencies. Human exposure to high levels of pollution is responsible for triggering numerous disorders, including chronic problems, asthma, lung cancer, cataracts and cardiac ischemia. Amid the changing lifestyle adopted by modern society, where people tend to stay most of your daily indoors, there is the concern with the indoor air quality (IAQ). Thus, several studies have been developed to assess the IAQ from the characterization of pollutants in the air. Given the inherent risk of many substances to which students and teachers are daily exposed during their activities, in educational institutions, in this work it was conducted an analysis of air quality with emphasis on the characterization of concentration and diameter of suspended particulate matter in external and internal environments of three laboratories: Laboratory Sawmill and Beneficiation, Laboratory of Machining and Automation and Laboratory of Phenomena of Transport, Energy and Environmental Control, all located at the State University of São Paulo, Campus Experimental de Itapeva-SP. The Equipments employed for the particulate matter monitoring were DataRam 4 DR 4000 (DR4) and the Andersen Cascade impactor with eight stages (IMPAC8). The laboratory Sawmill and Beneficiation, was the environment that presented the highest of particulate emissions, being the highest mean concentration of the particles obtained in sampling 2, reaching an average value of $81,79 \mu\text{g} / \text{m}^3$, exceeding the interior quality reference standards established by ANVISA ($80 \mu\text{g} / \text{m}^3$ in a 24-hour period).

Keywords: Particulate Matter. Indoor Air Quality. Laboratories.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - DataRam 4 - Modelo DR 4000 (DR4) | 30 |
| Figura 2 - Esquema da configuração do sistema ótico do DataRam 4..... | 31 |
| Figura 3 - <i>Display</i> de configuração do <i>software</i> DR4-COM..... | 32 |
| Figura 4 - Acessórios DataRAM 4. (a) Sonda isocinética; (b) Diluidor de partículas; (c) Seletor de partículas; (d) Aquecedor; (e) Entrada omnidirecional..... | 33 |
| Figura 5 - Impactador de Cascata <i>Andersen</i> de 8 estágios | 34 |
| Figura 6 - Esquema do estágio de impactação das partículas | 35 |
| Figura 7 - Localização geográfica da UNESP - Câmpus de Itapeva e dos ambientes laboratoriais amostrados. (1) Laboratório de Serraria e Beneficiamento; (2) Laboratório de Usinagem e Automação; (3) Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental | 37 |
| Figura 8 - Vista do Laboratório de Serraria e Beneficiamento..... | 38 |
| Figura 9 - Esquadrejadeira | 39 |
| Figura 10 - Plaina Desengrossadeira | 39 |
| Figura 11 - Plaina Desempenadeira..... | 40 |
| Figura 12 - Serra de Fita | 40 |
| Figura 13 - Tupia Moldureira | 41 |
| Figura 14 – Lixadeira de Cinta | 41 |
| Figura 15 - Vista do Laboratório de Usinagem e Automação..... | 42 |
| Figura 16 - Centro de Usinagem CNC Tech Z1 | 43 |
| Figura 17 - Vista do Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental | 44 |
| Figura 18 - <i>Layout</i> do Laboratório de Serraria e Beneficiamento com destaque dos pontos amostrais | 46 |
| Figura 19 - <i>Layout</i> do Laboratório de Usinagem e Automação com destaque dos pontos amostrais | 46 |
| Figura 20 - <i>Layout</i> do Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental, com destaque do ponto amostral | 48 |
| Figura 21 – Filtros de fibra de vidro..... | 49 |
| Figura 22 - Dessecador..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 23 - Balança analítica, modelo Marte AY220 | 50 |
| Figura 24 - Planta baixa do Laboratório de Serraria e Usinagem com as distâncias de posicionamento dos pontos de coleta em relação aos maquinários analisados | 51 |
| Figura 25 - Variação da Concentração dos particulados em função do tempo total de amostragem | 52 |
| Figura 26 - Variação diametral das partículas em função do tempo total de amostragem | 53 |
| Figura 27 - Variação da concentração de material particulado em função do tempo de amostragem | 54 |
| Figura 28 - Variação diametral das partículas em relação ao tempo de amostragem | 55 |
| Figura 29 - Concentração de material particulado em função da variação do diâmetro das partículas | 55 |
| Figura 30 - (a) Concentração média de material particulado em função da distância entre o equipamento emissor e o ponto de coleta; (b) Diâmetro médio das partículas em função da distância entre o equipamento emissor e o ponto de coleta | 56 |
| Figura 31 - (a) Concentração média de material particulado em função do tempo de amostragem; (b) Variação média diametral das partículas em função do tempo de amostragem | 57 |
| Figura 32 - Planta baixa do Laboratório de Serraria e Usinagem com as distâncias de posicionamento dos pontos de coleta em relação aos maquinários analisados | 58 |
| Figura 33 - Variação da Concentração dos particulados em função do tempo total de amostragem | 59 |
| Figura 34 - Variação diametral dos particulados em função do tempo total de amostragem | 60 |
| Figura 35 - Variação da concentração de material particulado em função da distribuição diametral | 60 |
| Figura 36 - (a) Variação média da concentração de particulado em função da distância do ponto amostral; (b) Variação diametral média das partículas em função da distância do ponto amostral..... | 61 |
| Figura 37 - Valores médios referentes à concentração das partículas correspondente ao período de amostragem | 61 |

| | |
|--|----|
| Figura 38 - Valores médios referentes ao diâmetro das partículas correspondente ao período de amostragem | 62 |
| Figura 39 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem | 62 |
| Figura 40 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem | 63 |
| Figura 41 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente | 63 |
| Figura 42 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem | 64 |
| Figura 43 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem | 65 |
| Figura 44 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente | 65 |
| Figura 45 - Variação da temperatura e umidade relativa pelo tempo de amostragem | 66 |
| Figura 46 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem | 67 |
| Figura 47 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem | 67 |
| Figura 48 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente | 68 |
| Figura 49 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem | 69 |
| Figura 50 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem | 69 |
| Figura 51 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Efeitos da concentração de O ₂ | 23 |
| Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar em vigor nos EUA para concentração de material | 25 |
| Tabela 3 - Padrões nacionais de qualidade do ar em vigor na Europa para concentração de material | 26 |
| Tabela 4 - Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA 03/90) | 26 |
| Tabela 5 - Valores de referência para partículas em suspensão segundo a OMS.... | 27 |
| Tabela 6 - Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior (Resolução ANVISA nº9, de 16/01/2003)..... | 28 |
| Tabela 7 - Número mínimo de amostras em função da área construída..... | 28 |
| Tabela 8 - Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior (ABRAVA RN 02 de 2003)..... | 29 |
| Tabela 9 - Faixa diametral de corte e dimensões dos orifícios para cada estágio de coleta..... | 35 |
| Tabela 10 - Tempo médio de amostragem para cada máquina monitorada | 47 |
| Tabela 11 - Temperatura média, mínima e máxima obtida em cada laboratório..... | 70 |
| Tabela 12 - Umidade relativa do ar obtida em cada laboratório | 71 |
| Tabela 13 - Massa de material particulado coleta em relação à distribuição diametral correspondente a cada estágio | 72 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

ACGH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferência Governamental Americana de Higienistas Industriais)

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CE – Comunidade Europeia

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNC – Comando Numérico Computadorizado

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DR 4 – DataRam 4000

EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)

EPIs – Equipamentos de Proteção Individual

EUA – Estados Unidos

FCC – Federal Communications Commission (Comissão Federal de Comunicações)

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

O₂ – Oxigênio

O₃ – Ozônio

OMS – Organização Mundial da Saúde

OSHA – Occupational Safety and Health Administration (Administração de Segurança e Saúde Ocupacional)

PM – Material Particulado

PM_{2,5} – Material Particulado de diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm

PM₁₀ – Material Particulado de diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm

PT – Poeira Total

PVC – Policloreto de Vinila

QAI – Qualidade do Ar Interior

SO₂ – Dióxido de enxofre

UNESP – Universidade Estadual Paulista

USEPA – United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 2 OBJETIVOS | 21 |
| 2.1 Objetivo Geral | 21 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 21 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 3.1 Ar Atmosférico | 22 |
| 3.2 Padrões de Qualidade do Ar | 23 |
| 3.3 Legislações para Qualidade do Ar em Ambientes Internos | 27 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 30 |
| 4.1 Equipamentos | 30 |
| 4.1.1 DataRam 4 - Modelo DR 4000 (DR4) | 30 |
| 4.1.2 Impactador de Cascata Andersen – IMPAC8 | 33 |
| 4.2 Local de Estudo | 36 |
| 4.2.1 Laboratório de Serraria e Beneficiamento | 37 |
| 4.2.2 Laboratório de Usinagem e Automação | 42 |
| 4.2.3 Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental | 43 |
| 4.3 Amostragens | 44 |
| 4.3.1 Amostragens Externas | 45 |
| 4.3.2 Amostragens Internas | 45 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 51 |
| 5.1 Amostragem no Laboratório de Serraria e Beneficiamento | 51 |
| 5.1.1 Amostragem 1 | 51 |
| 5.1.2 Amostragem 2 | 57 |
| 5.2 Amostragem no Laboratório de Usinagem e Automação | 62 |
| 5.3 Amostragem no Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental | 64 |
| 5.4 Amostragem do Ambiente Externo – Laboratório de Serraria e Beneficiamento | 66 |
| 5.5 Amostragem do Ambiente Externo – Laboratórios de Usinagem e Automação e Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental | 68 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6 Análise da Temperatura nos Ambientes internos | 70 |
| 5.7 Análise da Umidade relativa nos Ambientes internos | 71 |
| 5.8 Resultados Amostragem com Impactador de cascata | 72 |
| 6 CONCLUSÃO | 74 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 76 |

1. INTRODUÇÃO

A garantia de um ar saudável, isto é, isento de quaisquer substâncias que possam ocasionar danos à saúde e ao bem-estar humano, deve ser um direito básico assegurado a cada cidadão (WHO, 2009). A qualidade do ar é uma questão ambiental a ser valorizada em todos os tipos de ambientes, devendo estar voltada tanto para os ambientes externos como internos das edificações.

Em meio ao crescimento exponencial urbano e a mudança de estilo de vida adotada pela sociedade moderna, questões relacionadas às condições do ar no interior dos ambientes têm levado a uma série de discussões. Milhares de pessoas permanecem em sua rotina diária, cerca de 90%, do tempo dentro de residências, hospitais, shoppings centers, escritórios, instituições de ensino e até mesmo no interior de veículos automotivos. Enquanto que o tempo fora destes ambientes é correspondente a 10%.

Uma consequência indesejável deste comportamento é o aumento da exposição potencial dos indivíduos a uma gama de substâncias contaminantes, designadas como “poluentes”, originadas pelas condições do próprio meio, tais como gases, vapores, material particulado, fumos e micro-organismos.

As operações e a taxa de ocupação humana, a disposição física da edificação, presença de sistemas de ventilação e de climatização de ar, e a influência do ambiente externo, estão entre as principais fontes de contaminação do ar em ambientes internos (denominado de ar interior) (ALVES, ROSA E AGUIAR, 2015).

Desde a década de setenta, a comunidade científica alerta sobre o potencial de risco ao ser humano quando este é submetido a situações de confinamento. Pesquisas realizadas nesta época foram às pioneiras sobre o assunto, correlacionando elevados o número de problemas de saúde relatados por ocupantes de “prédios selados” (construções caracterizadas pela existência de poucas aberturas de renovação de ar com o ambiente externo) com a predominância elevada da concentração de poluentes químicos e biológicos dispersos no ar dos recintos.

Supõe-se que a qualidade do ar interior (QAI) seja a grande vilã junto à saúde pública. Dados mais recentes divulgados pela Organização Mundial da Saúde

(OMS) apontam em 2012 a ocorrência de 4,3 milhões de mortes prematuras atribuídas à poluição do ar interior, decorrentes de complicações pulmonares e cardíacas (WHO, 2015).

Para nível de avaliação da exposição humana é fundamental determinar as concentrações dos poluentes atmosféricos, tanto nos ambientes externos, quanto internos (SEXTON E RYAN, 1988, apud FERREIRA, 2014).

Diante disso, o monitoramento ambiental da qualidade do ar tem se tornado um método eficaz de identificação e controle dos agentes nocivos existentes no ar atmosférico, possibilitando estabelecer os níveis de exposição mediante a comparação dos dados coletados com os limites estabelecidos pelas normas técnicas legais. Tais estudos se concentram na realização de uma amostragem ambiental, onde são avaliadas as concentrações e as características físico-químicas de cada substância poluente presente no ar.

Segundo Comin (2012), para a realização destes estudos deve ser considerada uma série de etapas baseadas, no planejamento, obtenção de dados por meio de amostragens das medidas dos níveis de poluentes, e determinação das variáveis de temperatura e umidade, as quais influenciam diretamente sobre o conforto e satisfação do ser humano.

No Brasil os padrões referenciais de QAI em ambientes climatizados artificialmente (de uso público e coletivo) são normatizados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) de acordo com a Resolução-RE nº. 9, de 16 de janeiro de 2003.

Dentre as principais substâncias poluentes, o material particulado (MP, ou do inglês *particulate matter*, PM) se destaca como um dos principais parâmetros indicadores da qualidade do ar. Constituído a partir de partículas sólidas e finas, trata-se de uma substância de ocorrência frequente na atmosfera, apresentando-se na forma de poeiras, pó, fumaças e aerossóis. A nível mundial é identificado como o poluente atmosférico mais nocivo à saúde humana. Seus efeitos danosos estão totalmente relacionados com a variação do tamanho de suas partículas. Define-se como particulados finos, aqueles que apresentam um diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 2,5 μm (também conhecido como PM_{2,5}), e particulados mais espessos os de diâmetro aerodinâmico entre 2,5 μm e 10 μm , denominados de

PM₁₀. Particulados finos são considerados os mais prejudiciais à saúde, pois são capazes de penetrar no sistema respiratório e causar danos irreversíveis.

Neste âmbito, diversas pesquisas científicas têm sido desenvolvidas ao longo dos anos, a fim de analisar a qualidade do ar em função da concentração de material particulado por meio de amostragem ambiental. Os trabalhos não têm se limitado apenas a um tipo de ambiente específico, na literatura encontram-se diversos estudos em diferentes ambientes, como: salas de aula (COMIN, 2012), marcenarias (BARBOSA, 2014), pizzaria (MOTA, 2014), indústria (MARAGNO, 2013), bibliotecas públicas (NASCIMENTO, 2011), ginásios poliesportivo (RAMOS, 2013), mercado municipal (ROTIROTI, 2013), unidade de terapia intensiva (MIYGUSKO, 2008), edifícios residenciais (MORAES, 2006) entre outros.

Pouco estudados, os laboratórios universitários são locais onde se deve atentar à QAI. Diariamente professores, técnicos e alunos estão expostos a uma variedade de substâncias durante a realização de suas atividades por períodos diários de 4 a 8 horas, por meio da manipulação de reagentes químicos e soluções, equipamentos e a exposição direta ao material particulado.

Ambientes laboratoriais específicos que tem a madeira como principal objeto de estudo, devem ser identificados como uma possível área crítica quando abordado sobre a questão da QAI. Visto que durante as etapas de usinagem e beneficiamento da madeira é comum a geração de altas concentrações de poeira em diferentes granulometrias, ficando estas em suspensão sobre o ambiente de trabalho.

Estas partículas são constituídas de uma mistura complexa composta de celulose, polioses e lignina, que passam a oferecer sérios riscos patológicos quando penetrados na via respiratória humana, podendo ocasionar infecções respiratórias e até mesmo o desenvolvimento de carcinogêneses (REKHADEVI, et al., 2009).

Tendo em vista o risco inerente deste tipo de exposição, esta pesquisa propõe a realização de uma análise da qualidade do ar a partir de amostragem ambiental, tendo como foco a caracterização física do material particulado em níveis de concentração e distribuição diametral das partículas. Tal estudo foi realizado em diferentes laboratórios, todos localizados na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus Experimental de Itapeva. Para o estudo utilizou-se o método de

amostragens de material particulado baseado na fração de poeira total (PT) em áreas internas e externas dos recintos seguindo as recomendações estabelecidas pela Norma Técnica 004 - Qualidade do Ar Ambiental Interior, Método de Amostragem e Análise de Concentração de Aerodispersóides em Ambientes Interiores, Resolução nº009 de 16 de janeiro de 2003 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Foram utilizados dois amostradores de partículas: i) DataRam 4 e ii) Impactador de Cascata *Andersen*.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo teve como objetivo analisar a qualidade do ar a partir de amostragem de material particulado, em ambientes externos e internos de laboratórios acadêmicos da Universidade Estadual Paulista, Câmpus Experimental de Itapeva-SP, tendo como foco principal a análise da concentração e distribuição diametral das partículas produzidas por diferentes equipamentos.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar amostragem de material particulado em ambientes internos e externos do Laboratório de Serraria e Beneficiamento;
- Realizar amostragem de material particulado em ambientes internos e externos do Laboratório de Usinagem e Automação;
- Realizar amostragem de material particulado em ambientes internos e externos do Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental;
- Avaliar as características associadas à concentração e diâmetro dos particulados emitidos por diferentes equipamentos (esquadrejadeira, desengrossadeira, desempenadeira, serra fita, tupia, lixadeira e fresadora CNC);
- Verificar a dispersão das partículas em diferentes distâncias a partir do posicionamento de cada máquina;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dada a extensa literatura sobre o tema, neste trabalho optou-se por realizar uma revisão bibliográfica sucinta, baseada principalmente em detalhes técnicos associados ao estudo. Para uma descrição mais completa indicam-se ao leitor as referências: Brickus e Aquino Neto (1999); Gioda e Aquino Neto (2003); Basto (2007); Ito (2007); Nascimento (2011);

3.1 Ar Atmosférico

Incolor, inodoro e insípido, localizado sobre uma fina camada a qual recobre a Terra, o ar atmosférico é constituído basicamente por uma mistura fluída de gases, na seguinte distribuição percentual média: nitrogênio (78,11%), oxigênio (20,95%), argônio (0,934%) e gás carbônico (0,033%), além de outros constituintes em concentrações menores, como gases nobres (hélio, neônio, criptônio, xenônio), hidrogênio, metano, dióxido de nitrogênio e vapor de água (VIEIRA, 2009).

Cerca de 90% da concentração de ar atmosférico encontra-se localizado na camada mais fina da atmosfera, próxima da superfície terrestre, denominada de troposfera. Estendendo-se até uma altitude de 16,5 km, no Equador, e 8,5 km nos polos (BRAGA et al, 2005).

Assim como a água e o solo, o ar pode ser considerado um recurso natural de suma importância para a existência e manutenção de vida terrestre. Dele dependem as funções metabólicas desenvolvidas pelo homem, pelos animais e vegetais, as reações de combustão e a propagação das ondas de comunicação (QUADROS, 2014).

Derisio (2012) estima que uma pessoa seja capaz de sobreviver durante 5 semanas sem alimento, 5 dias sem água, mas não mais do que 5 minutos sem ar. O ser humano requer em média o equivalente a 15 kg de ar por dia, podendo variar de acordo com a intensidade da atividade desenvolvida.

Segundo Basto (2007), para uma utilização favorável do ar é essencial que este tenha no mínimo 19,5% em volume de oxigênio (O₂), permanecendo isento de quaisquer substâncias que sejam prejudiciais à saúde.

A composição do ar se encontra em constante mudança. A simples presença do homem em um ambiente altera significativamente as porcentagens dos

elementos contidos no ar em função do volume, passando a ser de 75,00% para nitrogênio, gases nobres e hidrogênio; 16% para oxigênio; 4% para dióxido de carbono (CO₂) e 5% para vapor de água (MACINTYRE, 2013).

Verani (2003 *apud* BASTO, 2007) considera que uma redução drástica no volume de oxigênio no ar resulta em uma série de efeitos fisiológicos ocasionados ao homem, como pode ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Efeitos da concentração de O₂

| % Vol. O₂ | Efeitos fisiológicos |
|-----------------------------|--|
| 20,9 | Concentração normal. |
| 19,5 | Concentração mínima legal. |
| 19-16 | Início de sonolência. |
| 16-12 | Perda de visão periférica, respiração intermitente, dificuldade de coordenação, aumento do volume de respiração, aumento da frequência cardíaca, redução da capacidade de pensar e agir. |
| 12-10 | Falta de raciocínio, pobre coordenação muscular sendo que o esforço muscular leva à fadiga, que pode causar danos permanentes ao coração. |
| 10-6 | Náusea, vômito, incapacidade para movimentos vigorosos inconsciência seguida por morte. |
| <6 | Respiração espasmática, movimentos convulsivos e morte em minutos. |

Fonte: Verani, 2003 *apud* Basto, 2007

3.2 Padrões de Qualidade do ar

Desde a metade do século XX, a poluição do ar tem se tornado uma problemática ambiental evidente, impulsionada pelo crescimento dos centros urbanos industrializados e pela presença cada vez mais frequente de veículos motorizados (AMARAL; PIUBELI, 2003).

Uma série de episódios agudos de poluição atmosférica levaram milhares de pessoas a óbito em cidades da Europa, Ásia e Estados Unidos. A maioria dos

casos ocorreu sobre condições meteorológicas atípicas, contribuindo para uma dificuldade de dispersão muito grande de poluentes na atmosfera.

Os períodos mais críticos de poluição compreenderam-se entre 1925 a 1950. Segundo Cavalcanti (2010) e Derisio (2012) devem destacar-se como sendo os mais graves os ocorridos em:

- (1930) Bélgica, Vale do Rio Meuse – Região altamente industrializada, afetada por uma forte inversão térmica, a qual impediu a dispersão dos poluentes. Tal fato perdurou por quase uma semana durante o mês de dezembro, levando a incidência de complicações respiratórias, especialmente em crianças e idosos. No total foram registrados de 60 óbitos.

- (1948) Estados Unidos, Donora - Região caracterizada pela atividade industrial metalúrgica, a qual sofreu uma forte inversão térmica, resultando no adoecimento de cerca de 5.000 pessoas (representando mais de 40% da população) e 18 óbitos;

- (1950) México, Poza Rica – a emissão de compostos de enxofre por parte de uma indústria de refinaria de petróleo, durante um período de 25 minutos, agravada pela inversão térmica, os quais ocasionaram a internação de 320 pessoas e 22 mortes;

- (1952) Inglaterra, Londres – considerado um dos mais graves, o fato decorreu-se de um grande nevoeiro, que aliado a uma inversão térmica, dificultou a dispersão de poluentes derivados da utilização do carvão como combustível em indústrias e residências. Tendo culminado em altas concentrações de material particulado e dióxido de enxofre na atmosfera, levando a cerca de 4.000 mortes em apenas cinco dias.

Estimulado pelos altos índices de poluição atmosférica e seus agravantes sobre a saúde pública, órgãos ambientais foram criados de forma a tomar ações controladoras da poluição por meio do estabelecimento de padrões de qualidade do ar.

Um padrão de qualidade do ar define o limite máximo para a concentração de uma determinada substância na atmosfera, tendo como referência estudos científicos sobre os efeitos ocasionados por poluentes específicos, fixados

em uma margem que garanta a saúde e o bem estar das pessoas (CAVALCANTI, 2010).

Os Estados Unidos foram os pioneiros no desenvolvimento de legislações federais voltadas para o controle da qualidade do ar, criando em 1971, através da Agência de Proteção Ambiental (EPA, da sigla em inglês *Environmental Protection Agency*), a Política Nacional de Ar limpo, conhecida com “*Clean Air Act*”.

No Brasil a primeira legislação ambiental ocorreu com a criação da Portaria MINTER 231, de 27 de abril de 1976, com o estabelecimento do padrão regional da qualidade do ar para a emissão de dióxido de enxofre. Em 1990, os parâmetros foram ampliados, dando origem ao desenvolvimento de padrões de qualidade do ar, instituídos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pela Resolução nº 3 de 28 de junho de 1990.

Na Europa a implantação de uma política voltada para o controle ambiental da qualidade do ar ocorreu somente anos mais tarde, mais precisamente em 1999 (KUMAR et al., 2010 apud LIMA, 2011).

Atualmente estes países estabelecem padrões de qualidade do ar voltada para o controle de alguns poluentes, como monóxido de carbono (CO), chumbo, dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃), dióxido de enxofre (SO₂), partículas totais em suspensão, partículas na fração inaláveis grossas (PM₁₀) e partículas na fração inaláveis finas (PM_{2,5}).

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados, respectivamente, os padrões internacionais de qualidade do ar em vigor nos Estados Unidos (EUA) e na Europa, referentes à concentração de material particulado.

Tabela 2 – Padrões nacionais de qualidade do ar em vigor nos EUA para concentração de material particulado.

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão estabelecido (µg/m³) |
|-------------------------|----------------------------|---|
| PM_{2,5} | Anual | 15 |
| | 24 horas | 35 |
| PM₁₀ | 24 horas | 150 |

Fonte: Santana, 2012

Tabela 3 – Padrões nacionais de qualidade do ar em vigor na Europa para concentração de material particulado.

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão estabelecido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------------------------|----------------------------|--|
| PM_{2,5} | Anual | 25 |
| PM₁₀ | 24 horas | 50 |
| | Anual | 40 |

Fonte: Santana, 2012

Considerando os diferentes níveis de poluição atmosférica, a Resolução CONAMA nº 3/ 90 dividiu os padrões da qualidade do ar em duas classes: padrões primários relacionados com as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas o limite máximo tolerado poderão ocasionar danos à saúde da população; e padrões secundários correspondentes à concentração de poluentes atmosféricos, a qual acarretará o mínimo efeito adverso à saúde humana e ao ecossistema.

Na Tabela 4 são apresentados os padrões nacionais de qualidade do ar referentes à concentração de particulados, segundo a Resolução CONAMA 03/90.

Tabela 4 - Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA 03/90)

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---|----------------------------|--|--|
| Partículas totais em suspensão | 24 horas | 240 | 150 |
| | Média geométrica anual | 80 | 60 |
| Partículas inaláveis (PM₁₀) | 24 horas | 150 | 150 |
| | Média aritmética anual | 50 | 50 |

Fonte: Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990

Em 2005 após inúmeros estudos, Organização Mundial da Saúde (OMS) promoveu uma atualização dos padrões de qualidade do ar, contando com especialistas em políticas públicas e ambientais do mundo todo. A organização recomenda que antes da adoção destes valores como padrões nacionais, é necessário levar em conta as características locais da região. Os valores de referência para partículas em suspensão são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de referência para partículas em suspensão segundo a OMS

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão estabelecido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------------------------|----------------------------|--|
| PM_{2,5} | Anual | 10 |
| | 24 horas | 25 |
| PM₁₀ | Anual | 20 |
| | 24 horas | 50 |

Fonte: WHO, 2005

3.3 Legislações para a Qualidade do Ar em Ambientes Internos

O Brasil dispõe de órgãos que regulamentam os padrões da qualidade do ar para ambientes internos, são eles: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado e Aquecimento (ABRAVA).

A primeira legislação a ser regulamentada foi pela ANVISA a partir da elaboração da Resolução nº 176 publicada em 24 de outubro de 2000, abordando orientações técnicas sobre “Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo”. No ano de 2003 tal resolução passou pelo processo de atualização dos dados de padrões referenciais, incluindo recomendações estabelecidas pela NBR 6401 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre temperatura, umidade, velocidade e taxa de renovação do ar. Estes novos padrões estabelecidos deram origem a Resolução ANVISA nº 9, de 16 de janeiro de 2003 (COMIN, 2012).

A Resolução ANVISA nº 9, de 16 de janeiro de 2003 define segundo a determinação da Portaria GM/MS n.º 3.523/98, como Padrão Referencial de Qualidade do Ar Interior o “marcador qualitativo e quantitativo de qualidade do ar ambiental interior, utilizado como sentinela para determinar a necessidade da busca das fontes poluentes ou das intervenções ambientais”.

Na Tabela 6 são apresentados os Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior estabelecido segundo a Resolução ANVISA nº9, de 16 de janeiro de 2003 para níveis de exposição química e biológica.

Tabela 6 - Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior (Resolução ANVISA nº9, de 16/01/2003)

| Poluente | Padrão estabelecido |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Partículas totais em Suspensão | $\leq 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ |

Fonte: Resolução ANVISA nº9, de 16 de janeiro de 2003

Esta resolução ainda recomenda faixas aceitáveis de parâmetros como temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, devendo variar em condições internas para o verão entre as temperaturas de 23°C a 26°C e umidade relativa de 40% a 65%, com exceção para ambientes de arte, os quais devem operar entre as temperaturas de 21°C e 23°C e umidade entre 40% a 55% durante o ano todo. Para condições internas durante o inverno, a faixa recomendável para a temperatura deve variar entre 20°C a 22°C e umidade entre 35% a 65%.

A Resolução ANVISA nº 9/2003 estabelece o método de amostragem e análise a serem empregados para a concentração de aerodispersóides em ambientes internos de acordo com os seguintes equipamentos: Impactador de 1, 2 ou 6 estágios, Leitura Direta por meio de sensor infravermelho não dispersivo ou célula eletroquímica, Termo-higrômetro e Unidade de captação constituída por filtros de PVC. A definição do número de amostras deve ter como base a área construída da edificação a ser analisada, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Número mínimo de amostras em função da área construída

| Área construída (m²) | Número mínimo de amostras |
|--|----------------------------------|
| Até 1.000 | 1 |
| 1.000 a 2.000 | 3 |
| 2.000 a 3.000 | 5 |
| 3.000 a 5.000 | 8 |
| 5.000 a 10.000 | 12 |
| 10.000 a 15.000 | 15 |
| 15.000 a 20.000 | 18 |
| 20.000 a 30.000 | 21 |
| Acima de 30.000 | 25 |

Fonte: Resolução ANVISA nº9, de 16 de janeiro de 2003

Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado e Aquecimento (ABRAVA) fornece a Recomendação Normativa RN 02 de 2003, referindo-se a “Sistemas de Condicionamento de Ar e Ventilação para Conforto Qualidade do Ar Interior”. Os padrões referenciais de qualidade do ar interior estabelecidos pela ABRAVA são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior (ABRAVA RN 02 de 2003)

| Poluente | Padrão estabelecido |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Partículas totais em suspensão | <60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |

Fonte: ABRAVA RN 02 de 2003

Devido à falta de padrões referenciais brasileiros ao material particulado em suspensão em frações inaláveis ($\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10}) recomenda-se seguir os padrões estabelecidos pela OMS (ver Tabela 3).

Em ambientes ocupacionais as regulamentações são baseadas no Decreto 5452 de 1943 estabelecidas na NR-15 pelo Ministério do Trabalho. Em especial para níveis de exposição ocupacional onde haja a presença de poeira de madeira deve-se seguir os valores de tolerância determinados pela ACGH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*). A ACGH adota um limite tolerável de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para todas as espécies de madeira, tendo como exceção o cedro vermelho do oeste, onde se deve adotar uma concentração de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estes valores são referentes à exposição durante uma jornada de trabalho de 40 horas semanais. Brief e Scala (1975) propuseram uma correção deste valor para uma jornada de trabalho brasileira de 44 horas semanais, através de cálculos matemáticos, onde obtiveram um valor de $880 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o monitoramento de material particulado foram o DataRam 4, modelo DR 4000 (DR4) desenvolvido pela *Thermo Fisher Scientific Inc.*, e o Impactador de Cascata *Andersen* modelo IMPAC8 produzido pela empresa Energética Indústria e Comércio Ltda.

4.1.1 DataRam 4 - Modelo DR 4000 (DR4)

O DataRam 4 (Figura 1) é um equipamento compacto e portátil, certificado pela FCC (*Federal Communications Commission*) e CE (Comunidade Europeia). Empregado para medir a concentração de material particulado em dispersão no ar, bem como analisar outros parâmetros, tais como tamanho diametral das partículas, temperatura do ar e umidade relativa. A leitura dos dados é feita de forma contínua pelo aparelho, podendo ser observados em tempo real por meio de seu visor frontal. Os limites disponíveis quanto às medições abrangem as faixas de 0,0001 a 400mg/m³ para concentração, 0,04 a 4,0 µm para diâmetro, -15 a 60° (com precisão de 0,5°C) para temperatura e umidade relativa entre 0 e 100% (com precisão de 2%). O tempo desejado de coleta é definido pelo usuário o qual pode variar entre 0 a 60 segundos.

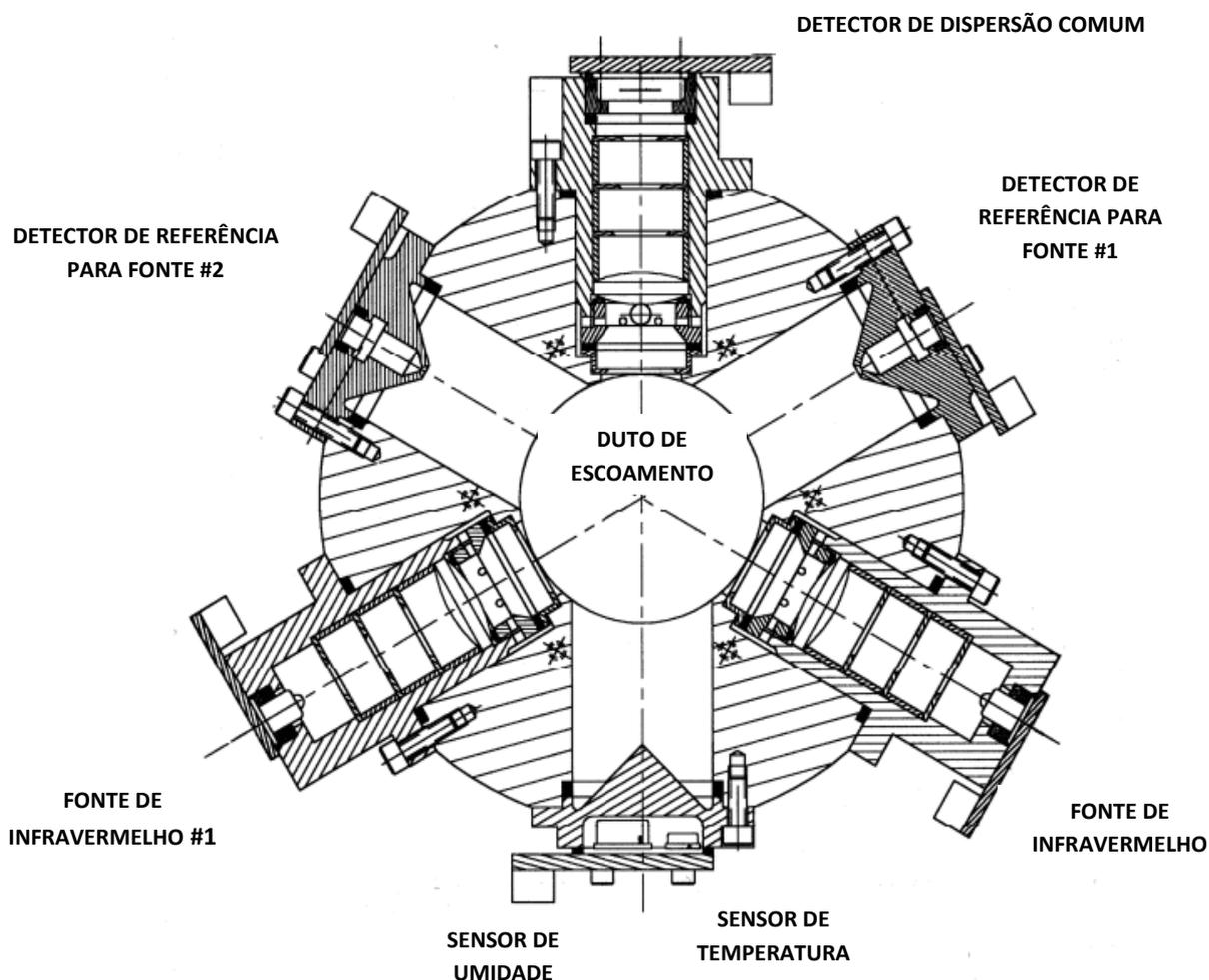
Figura 1 - DataRam 4 - Modelo DR 4000 (DR4)



Fonte: Thermo Fisher Scientific Inc., 2012

O sistema de funcionamento do DR4 trabalha com amostragem de ar ativa pelo princípio de bombeamento interno e espalhamento fotométrico da luz. Tal sistema consiste em um nefelômetro de duplo comprimento de onda com dois diodos de emissão de luz que emitem comprimentos de onda de pico de 660nm (vermelho) e 800nm (próximo ao infravermelho) em uma frequência de 27 pulsos por segundo. Os feixes de luz são emitidos, sendo colimados através de lentes acopladas, iluminando o eixo do duto de fluxo aéreo. A Figura 2 ilustra a configuração do sistema sensível ótico do DataRAM 4.

Figura 2 - Esquema da configuração do sistema ótico do DataRam 4



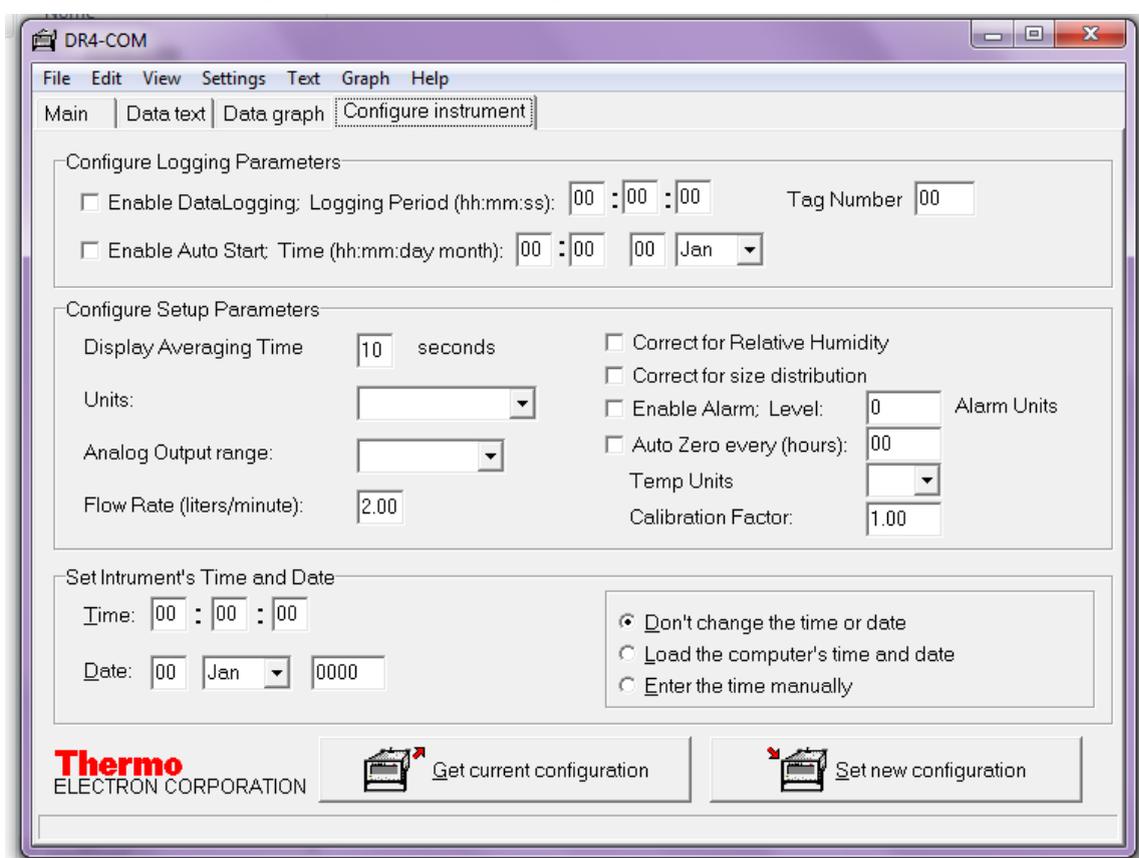
Fonte: Adaptado de Manual DataRam 4 - *Thermo Fisher Scientific Inc.*, 2007

A leitura do diâmetro das partículas é efetuada mediante a relação proporcional da quantidade de luz emitida pelo sistema e refletida por um dispersor

comum, centralizados em $60^\circ (\pm 18^\circ)$. Enquanto que à obtenção da concentração da partícula é feita em função da equivalência entre o volume e a massa da amostra coletada baseando-se na densidade da poeira de calibração representativa para uma faixa de materiais, a cerca de $2,6 \text{ g/cm}^3$.

Os dados obtidos pela amostragem são armazenados na memória interna do equipamento e podem ser transferidos para o computador por meio de cabos de comunicação digital e instalação do *software* DR4-COM, fornecidos juntos com o equipamento. A Figura 3 apresenta a janela da seção de gerenciamento da configuração dos dados utilizando o *software* DR4-COM.

Figura 3 - *Display* de configuração do *software* DR4-COM



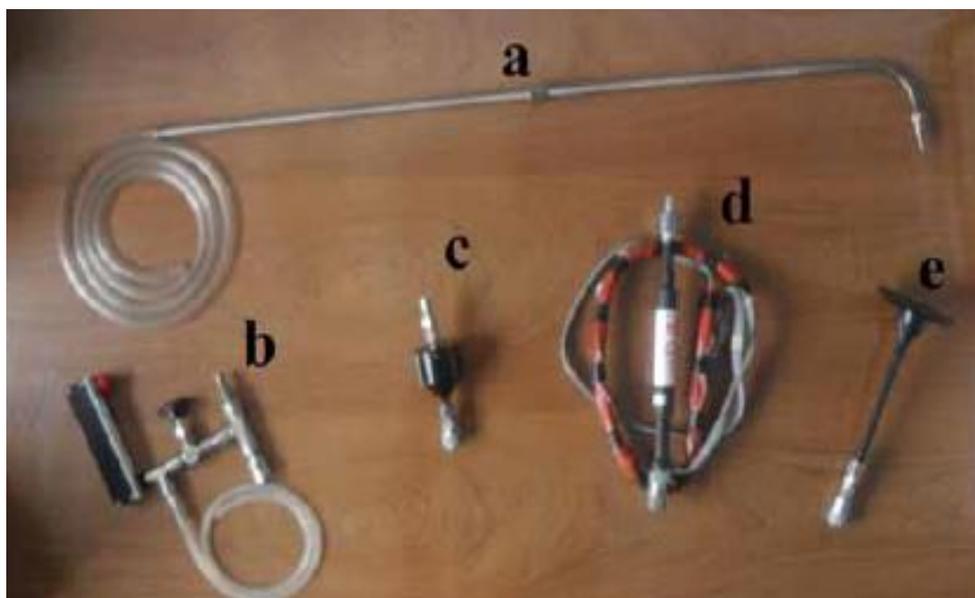
Fonte: *Print Screen* do *software* DR4-COM, 2016

O DataRAM 4 pode ser utilizado com vários acessórios opcionais, incluindo sonda isocinética (Figura 4a), diluidor de partículas (Figura 4b), seletor de partículas (Figura 4c), aquecedor para diminuição do teor de umidade das partículas (Figura 4d) e entrada omnidirecional (Figura 4e). Possibilitando a coleta em

diferentes locais, tais como câmeras de combustão, ambientes externos (ao ar livre) e ambientes internos (salas, laboratórios, bibliotecas, pátios de indústrias entre outros).

Para o presente estudo foram utilizados apenas o seletor de partículas (Figura 4c) e uma entrada omnidirecional (Figura 4e), devido às condições dos recintos amostrados.

Figura 4 - Acessórios DataRAM 4. (a) Sonda isocinética; (b) Diluidor de partículas; (c) Seletor de partículas; (d) Aquecedor; (e) Entrada omnidirecional.



Fonte: Lima, 2011

4.1.2 Impactador de Cascata *Andersen* – IMPAC8

O Impactador de Cascata *Andersen* modelo IMPAC8 (Figura 5), foi utilizado apenas em uma amostragem realizada no laboratório de serraria durante a operação da máquina esquadrejadeira, visando analisar o desempenho do equipamento quanto a coleta de particulados de madeira, estabelecendo uma comparação direta dos dados obtidos com o DataRam 4. O IMPAC8 é um amostrador de aerossóis que permite determinar as dimensões e os níveis de concentração de partículas sólidas e líquidas dispersas no ar a partir de análise gravimétrica de precisão, seguindo as exigências legais estabelecidas pela OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) e USEPA (*United States Environmental Protection Agency*).

Este aparelho é constituído de oito estágios de coleta numerados de 0 a 7 sendo composto por placas de impactação removíveis de multi-orifício, um bocal cônico para entrada de fluxo de ar e um estágio terminal de retenção denominado filtro (F) de backup, ambos confeccionados em alumínio. Os estágios são interligados mediante a fixação de três ganchos de pressão e vedados por anéis de borracha. São calibrados adotando como referência partículas esféricas de 1g/cm^3 .

Figura 5 - Impactador de Cascata *Andersen* de 8 estágios



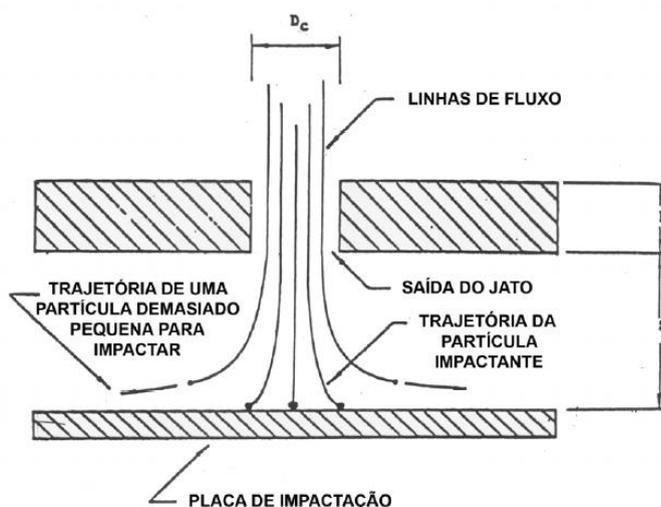
Fonte: Manual Impactador de Cascata *Andersen* - Energética Indústria e Comércio Ltda, 2016

Uma bomba de sucção operando em uma vazão de $28,3\text{L/min}$ é acoplada no estágio de filtração de modo a manter a permanência do fluxo de ar constante.

O fluxo de ar carregado de aerossóis adentra o bocal cônico direcionando-se até o interior do estágio, onde as partículas têm a sua trajetória totalmente influenciada pela sua inércia de movimento. Partículas de maiores dimensões absorvem maior energia de fluxo, tendendo a manter um escoamento linear, colidindo diretamente com a placa e ficando retidas em uma membrada de fibra de vidro, enquanto que as de menores dimensões mantêm-se junto com o fluxo de ar prosseguindo para o estágio subsequente. Partículas muito pequenas apresentam certa dificuldade de impactação, sendo, portanto coletadas no ultimo estágio denominado de filtro de *backup*.

A Figura 6 apresenta o esquema do estágio de impactação das partículas.

Figura 6 - Esquema do estágio de impactação das partículas



Fonte: Manual Impactador de Cascata Andersen - Energética Indústria e Comércio Ltda, 2016

A distribuição do tamanho diametral das partículas é determinada em função do número e dimensão dos orifícios de cada estágio, variando na faixa de 0,0 a 10 μm . Na Tabela 9 são apresentadas as faixas diametraes de corte e as respectivas dimensões dos orifícios para cada um dos estágios de coleta do impactador de cascata.

Tabela 9 - Faixa diametral de corte e dimensões dos orifícios para cada estágio de coleta.

| Estágio | Faixa de tamanho (μm) | Nº de orifícios | Diâmetro dos orifícios (μm) |
|---------|------------------------------------|-----------------|--|
| 0 | 9,0 – 10,0 | 96 | 2550 |
| 1 | 5,8 – 9,0 | 96 | 1887 |
| 2 | 4,7 – 5,8 | 400 | 914 |
| 3 | 3,3 – 4,7 | 400 | 711 |
| 4 | 2,1 – 3,3 | 400 | 533 |
| 5 | 1,1 – 2,1 | 400 | 342 |
| 6 | 0,7 – 1,1 | 400 | 254 |
| 7 | 0,4 – 0,7 | 201 | 254 |
| F | < 0,4 | - | - |

Fonte: Lima, 2011

A concentração de material particulado retido em cada membrana de coleta é determinada mediante análise gravimétrica. Este método consiste na determinação da massa de cada filtro de membrana de fibra de vidro antes e após a amostragem, devendo ser pesados numa balança analítica de precisão mínima de 0,00001g. Os filtros devem ser mantidos em uma câmara condicionada para estabilização da temperatura e umidade por pelo menos 24 horas antes de serem pesados. Obtém-se a concentração de particulados depositados em cada filtro calculando-se a diferença entre as massas iniciais e finais obtidas durante as pesagens.

O tempo mínimo de amostragem é monitorado com o auxílio de um cronômetro de precisão, sendo recomendado um tempo de coleta de 5 a 15 minutos, segundo as especificações da Norma Técnica 001 da Resolução nº 9/2003 da ANVISA.

4.2 Local de Estudo

O local de estudo escolhido foi a Universidade Estadual Paulista (UNESP) “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental, situado na Rua Geraldo Alckmin, nº 519, Vila Nossa Senhora de Fátima, no município de Itapeva-SP, a cerca de 270 km da capital do Estado de São Paulo. Trata-se de uma instituição pública mantida pelo governo do Estado de São Paulo, que se destaca pela atuação no ensino, pesquisa e extensão junto à comunidade.

Atualmente são oferecidos no Câmpus dois cursos de graduação sendo eles, Engenharia Industrial Madeireira e Engenharia de Produção, além de um curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica mantido em parceria com a Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP.

A UNESP Itapeva abriga uma área total de 88.973,33 m², sendo 9.254,1 m² de área edificada, onde circulam aproximadamente em média cerca de 300 pessoas por dia (SCARPELLI, 2011 *apud* SANTOS 2011).

O Câmpus de Itapeva conta com uma excelente infraestrutura laboratorial de apoio à pesquisa, graduação e pós-graduação, totalmente equipada e coordenada por professores e uma equipe de técnicos. Ao todo são 15 laboratórios alocados em 8 blocos, instalados de acordo com a sua área de pesquisa. A

periodicidade de uso destes ambientes é definida em função das necessidades de cada disciplina e da área de pesquisa.

Para a realização das amostragens foram selecionados os Laboratórios de Serraria e Beneficiamento, Usinagem e Automação, e Fenômenos de transporte, Energia e Controle Ambiental. Esta escolha teve como base as atividades desenvolvidas nos recintos, tratando-se de condições de trabalho diversificadas onde alunos, professores e técnicos se encontram diariamente expostos a materiais particulados de diferentes naturezas e em diferentes concentrações.

A Figura 7 apresenta a localização geográfica da Universidade, destacando os ambientes laboratoriais amostrados.

Figura 7 - Localização geográfica da UNESP - Câmpus de Itapeva e dos ambientes laboratoriais amostrados. (1) Laboratório de Serraria e Beneficiamento; (2) Laboratório de Usinagem e Automação; (3) Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental



Fonte: Google Earth 8.0, 2016

4.2.1. Laboratório de Serraria e Beneficiamento

Localizado no prédio nº 9, o laboratório de Serraria e Beneficiamento ocupa uma área construída de 641,56 m², a qual abriga as atividades práticas de ensino relacionadas com o processamento mecânico da madeira, tais como desdobramento de toras e produção de madeira serrada, bem como a preparação e

manutenção de ferramentas de corte para usinagem da madeira. O recinto, exibido na Figura 8, é subdividido em três setores, uma ala denominada serraria, composta de equipamentos para usinagem de madeiras (transportador de toras, serras de fita, serras circulares, destopadeira, fresas, entre outros), um setor de afiação para a manutenção das ferramentas de corte e uma sala técnica onde ficam os professores e técnicos do laboratório.

Figura 8 – Vista do Laboratório de Serraria e Beneficiamento



Fonte: Próprio autor, 2016

A partir do conhecimento sobre a rotina operacional do laboratório, identificaram-se os possíveis pontos de maior geração de material particulado, associando-os ao processamento mecânico da madeira realizado nos seguintes equipamentos:

a) Serra Esquadrejadeira (Figura 9): equipamento de corte utilizado para seccionar peças de madeira em dimensões específicas possibilitando atingir precisões milimétricas. É composta de uma serra circular acoplada em uma mesa fixa e uma mesa móvel facilitadora de deslocamento da madeira pelo operador em direção a serra, mantendo a peça no esquadro. Atua na usinagem de peças de médio a pequeno porte, atingindo ângulos de corte de 0° a 45° .

Figura 9 - Esquadrejadeira



Fonte: Próprio autor, 2016

b) Plana Desengrossadeira (Figura 10): máquina empregada para a regularização da superfície das pranchas de madeira, deixando-a isenta de defeitos. Permite melhorar o acabamento e uniformizar a espessura do material. O equipamento é composto de um eixo com quatro facas e dois eixos cilíndricos, possibilitando aplainar as duas faces da madeira ao mesmo tempo.

Figura 10 - Plana Desengrossadeira



Fonte: Próprio autor, 2016

c) Plana Desempenadeira (Figura 11): ferramenta de corte que atua na regularização da camada superficial da madeira, deixando-a lisa e reta. A máquina é formada de uma bancada retangular subdividida em duas mesas reguláveis, abrigando um porta-lâminas e uma guia para alinhamento do material.

Figura 11 - Plaina Desempenadeira



Fonte: Próprio autor, 2016

d) Serra de fita (Figura 12): ferramenta composta de uma serra fixa movimentada por um eixo pelo sistema de rotação de volantes e polias, é empregada para a realização de cortes longitudinais e transversais em peças de madeira, incluindo materiais mais espessos, difíceis de serem usinados pela serra circular.

Figura 12 - Serra de Fita



Fonte: Próprio autor, 2016

e) **Tupia Moldureira** (Figura 13): equipamento versátil, o qual permite realizar vários trabalhos em peças de madeira, como a realização de molduras, arredondamento de bordas, perfurações, chanfros, entre outros. A tupia é dotada de um eixo vertical disposto no centro da bancada onde é fixada a ferramenta de corte (fresa). São diversos os modelos de fresas, os quais devem ser trocados de acordo com o acabamento desejado.

Figura 13 - Tupia Moldureira



Fonte: Próprio autor, 2016

f) **Lixadeira de Cinta** (Figura 14): equipamento utilizado no acabamento superficial de peças de madeira. As lixas utilizadas podem variar de espessura, podendo ser finas ou grossas.

Figura 14 – Lixadeira de Cinta



Fonte: Próprio autor, 2016

Dada a potencialidade de produção de particulados, realizou-se o monitoramento durante as operações típicas de cada um destes equipamentos, sem causar interferências sobre as atividades desenvolvidas.

4.2.2 Laboratório de Usinagem e Automação

O laboratório de Usinagem e Automação (Figura 15) se concentra no prédio nº 11 ocupando uma área física de 263,45m². Neste ambiente são realizadas atividades práticas envolvendo operações de usinagem automatizada, como fresamento, torneamento, corte e furação. Sua infraestrutura dispõe-se de duas salas para docentes, uma sala para estudo e uma área de ensino e pesquisa, equipada com um centro de usinagem CNC Tech Z1 e uma serra circular seccionadora TECMATIC de painéis de madeira, modelo FIT.

Figura 15 – Vista do Laboratório de Usinagem e Automação



Fonte: Próprio autor, 2016

Considerando as condições operacionais de usinagem de cada equipamento, optou-se em monitorar a emissão de particulados durante o processamento da madeira na CNC Tech Z1, tendo em vista a possível geração de poeira de menor granulometria, a qual possui um grau mais elevado de risco de exposição ocupacional.

A CNC Tech Z1 (Figura 16) é uma máquina totalmente automatizada controlada por um comando numérico computadorizado (CNC) através de um sistema de coordenadas cartesianas (X, Y e Z). Apresenta grande versatilidade sendo empregada em operações de corte, fresamento e perfurações em diversos tipos de materiais. Sua estrutura é constituída de uma cabeça de perfuração onde são alocadas as ferramentas de corte, uma plataforma móvel longitudinal e uma central de comando, na qual se encontra armazenado o software responsável por todos os cálculos do sistema e pelo acionamento dos eixos, decorrente da comunicação entre o software e o equipamento por meio de linguagem de programação (ALMEIDA, 2013; BARROS, 2013).

Figura 16 - Centro de Usinagem CNC Tech Z1



Fonte: Próprio autor, 2016

4.2.3 Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental

O Laboratório de Fenômenos de transporte, Energia e Controle Ambiental também se encontra situado no prédio nº 11, compreendendo uma área construída de 265,04m², vista na Figura 17. Neste espaço são desenvolvidos estudos experimentais voltados para análise térmica dos fluidos, controle de impactos ambientais (tratamento de efluentes, controle de resíduos sólidos e monitoramento

de emissões atmosféricas) e desenvolvimento de fontes energéticas renováveis. Sua infraestrutura é composta por quatro salas divididas entre docentes e técnicos e uma área de ensino e pesquisa disposta de bancadas de trabalho providas de diversos equipamentos didáticos e mesa para estudo. Vale ressaltar-se que neste recinto não são realizadas atividades envolvendo o processamento mecânico da madeira.

Figura 17 – Vista do Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental



Fonte: Próprio autor, 2016

4.3 Amostragens

As amostragens foram realizadas na fração de poeira total (PT) tanto em ambientes internos como externos durante os meses de outubro de 2015 e setembro de 2016, utilizando-se dois equipamentos, DataRam 4 e o Impactador de Cascata *Andersen*. Para assegurar uma amostragem representativa, estes equipamentos foram posicionados a uma distância de 1,5m do solo considerando uma distância mínima da parede entre 20 a 30 cm, permanecendo longe de quaisquer interferências que pudessem atrapalhar a coleta. O número de pontos amostrais foi determinado segundo as recomendações estabelecidas pela Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) para métodos de amostragem e análise da concentração de aerodispersóides em ambientes interiores, conforme mencionado na Revisão Bibliográfica pela Tabela 7.

4.3.1 Amostragens Externas

Em todos os ambientes foi realizada uma única medição externa com o auxílio do DataRam 4, próximo ao local de saída do recinto. Para os Laboratórios de Usinagem e Automação, e Fenômenos de transporte, Energia e Controle Ambiental, uma única amostragem externa foi realizada, pois ambos os laboratórios situam-se no mesmo prédio.

4.3.2 Amostragens Internas

- Amostragens com DataRam 4

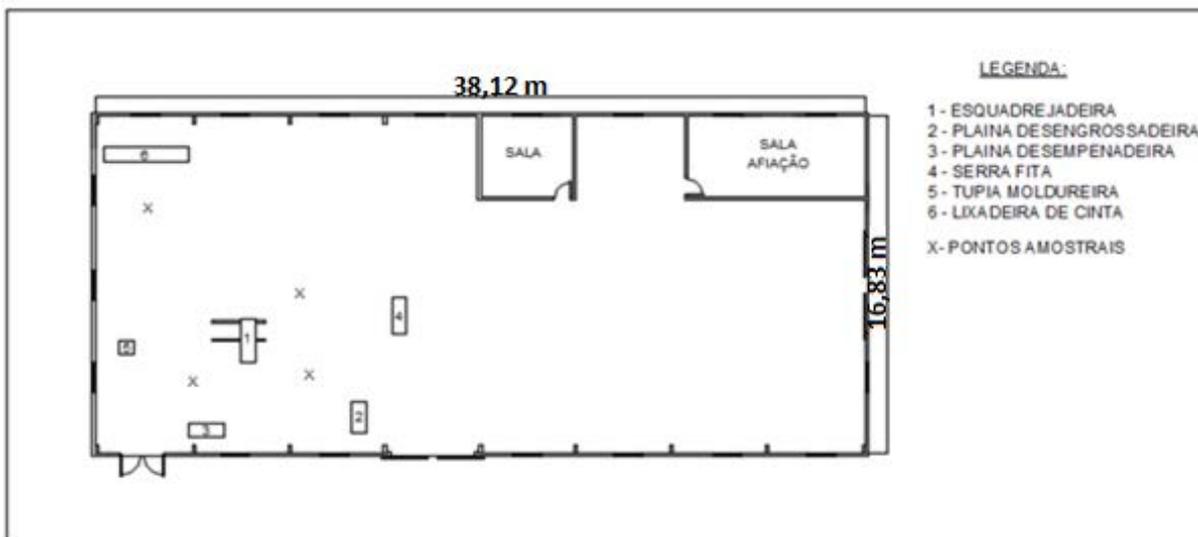
As amostragens utilizando-se o *DataRam 4* foram efetuadas durante o mês de outubro de 2015, em ambientes internos de três laboratórios distintos, laboratório de Serraria e Beneficiamento, laboratório de Usinagem e Automação, e laboratório de Fenômenos de transporte, Energia e Controle Ambiental. Em todos os casos o equipamento foi programado para a amostragem de partículas a cada 10 segundos, operando em uma vazão de 2L/min.

No laboratório de Serraria e Beneficiamento e no Laboratório de Usinagem e Automação o DataRam 4 foi disposto em determinados pontos do recinto próximos às fontes emissoras de poeiras, possibilitando uma análise sobre a exposição contínua de alunos, profissionais e demais ocupantes do local durante o funcionamento de cada equipamento. Visando reproduzir condições típicas de atividades laboratoriais de ensino, optou-se em realizar amostragens com o exaustor destes ambientes ligados, uma vez que esta é uma prática comum durante as aulas.

Para o processo de operação dos equipamentos, foram utilizadas peças de madeira de pinus (*Pinus ellioti*), devido a sua disponibilidade e grande utilização na universidade e na indústria madeireira de modo geral.

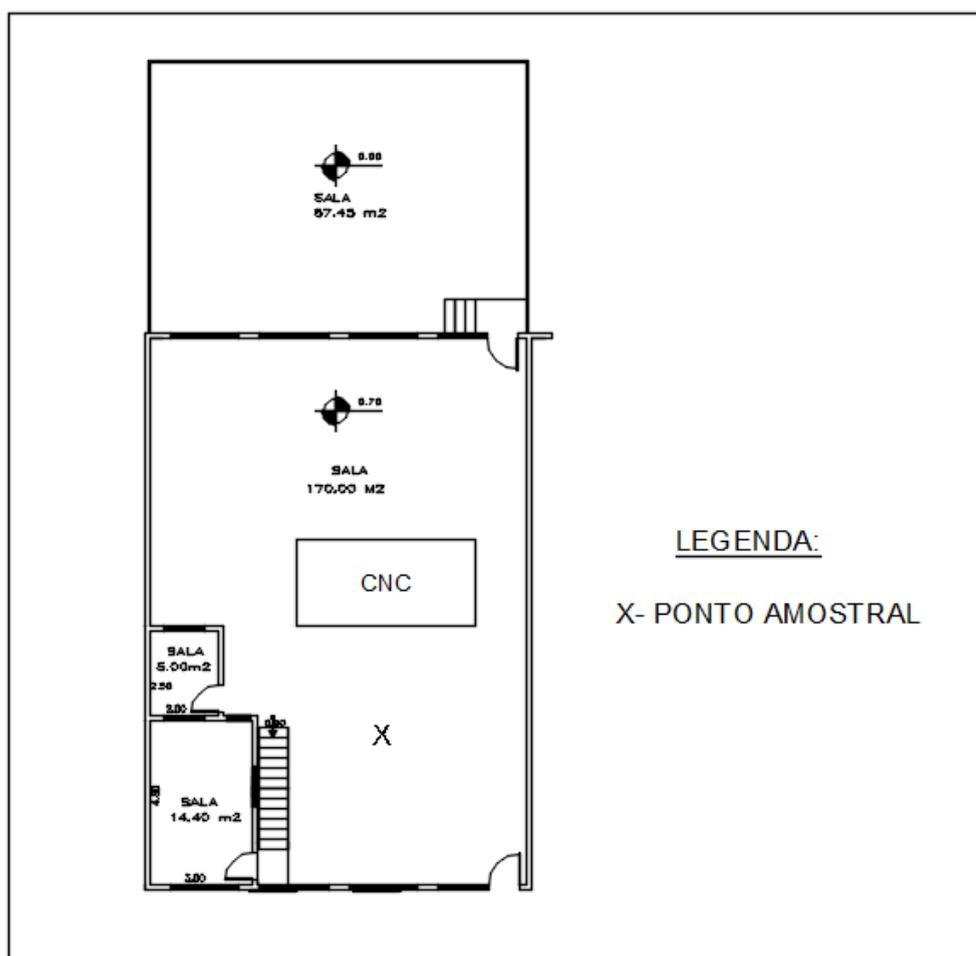
Nas Figuras 18 e 19, respectivamente, são apresentados o layout dos laboratórios de Serraria e Beneficiamento, e Usinagem e Automação, com a devida localização dos equipamentos monitorados e os pontos de coleta.

Figura 18 - *Layout* do Laboratório de Serraria e Beneficiamento com destaque dos pontos amostrais



Fonte: Adaptado de UNESP Itapeva, 2016

Figura 19 - *Layout* do Laboratório de Usinagem e Automação com destaque dos pontos amostrais



Fonte: Adaptado de UNESP Itapeva, 2016

O tempo de amostragem adotado foi escolhido com base no período típico de operação de cada máquina, conforme orientado pelo técnico responsável.

Tanto no Laboratório de Serraria e Beneficiamento como no Laboratório de Usinagem e Automação os processos de usinagem não foram feitos de forma simultânea, sendo cada maquinário analisado individualmente.

Efetuuou-se o monitoramento de particulados continuamente de modo a se coletar dados da concentração de particulados antes, durante e após o funcionamento de cada máquina, ou seja, o DataRam 4 foi mantido o tempo todo ligado.

Na Tabela 10 é ilustrado o tempo médio de amostragem durante a operação de cada máquina.

Tabela 10 - Tempo médio de amostragem para cada máquina monitorada

| Equipamentos | Tempo médio de Amostragem (minutos) Máquina em funcionamento |
|-------------------------|---|
| Serra Esquadrejadeira | 14,50 |
| Plaina Desengrossadeira | 11,95 |
| Plaina Desempenadeira | 8,45 |
| Serra Fita | 20,85 |
| Tupia Moldureira | 16,00 |
| Lixadeira de Cinta | 10,50 |
| Fresadora CNC | 29,83 |

Fonte: Próprio autor, 2016

Para análise do Laboratório de Fenômenos de transporte, Energia e Controle Ambiental, o DataRam 4 foi disposto em um ponto central do ambiente. Em condições de amostragens nas quais não estavam presentes equipamentos de processamento mecânico da madeira. Neste recinto as coletas de dados ocorreram no período da manhã, em um tempo médio de amostragem de 30,83 minutos.

Na Figura 20 pode ser visualizado o *layout* deste ambiente com destaque do ponto amostral.

Figura 20 - Layout do Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental, com destaque do ponto amostral



Fonte: Adaptado de UNESP Itapeva, 2016

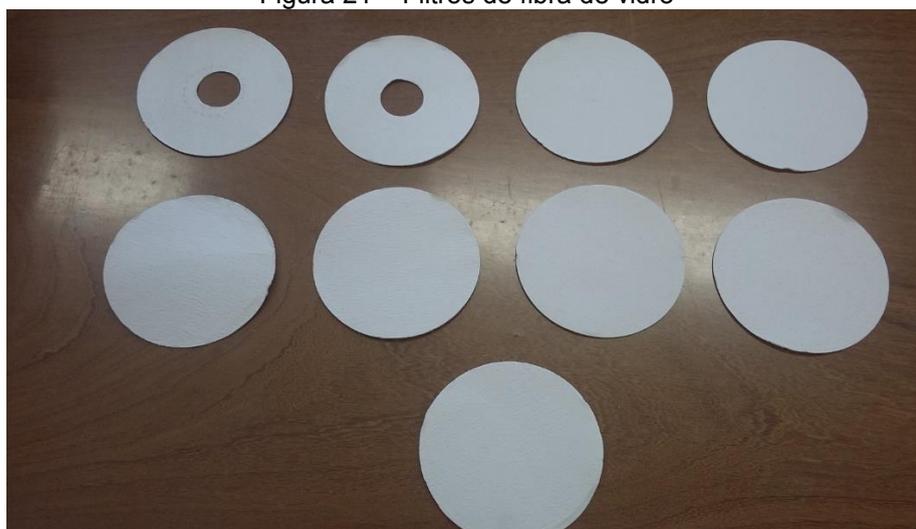
- Amostragens com Impactador de Cascata *Andersen*

O Impactador de Cascata *Andersen* foi utilizado excepcionalmente para amostragem de particulados no laboratório de Serraria e Beneficiamento durante a operação da serra esquadrejadeira, operando em uma vazão de 28,3L/min durante um período de 4 horas de amostragem.

Para a realização da amostragem, as unidades de filtração do Impactador de Cascata foram devidamente preparadas e montadas. Foram selecionados 9 filtros de fibra de vidro (Figura 21), sendo cuidadosamente retirados da embalagem com auxílio de uma pinça metálica, e cortados a fim de adequar-se às dimensões de

cada porta-filtro do equipamento. Tais filtros foram dispostos em vidros de relógio previamente numerados de acordo com a sequência correta referentes a cada estágio de coleta, sendo em seguida condicionados em estufa de secagem a uma temperatura de 60-69°C durante 24 horas, transferidos para um dessecador (Figura 22) permanecendo por um período de mais 24 horas, armazenados em placas de Petri e transportados para a montagem do equipamento no local de estudo.

Figura 21 – Filtros de fibra de vidro



Fonte: Próprio autor, 2016

Figura 22 - Dessecador



Fonte: Próprio autor, 2016

As massas de cada filtro de fibra de vidro foram determinadas antes e após o processo de amostragem, através de pesagem em balança analítica de precisão de 0,0001g, da marca Marte, modelo AY220 (Figura 23).

Figura 23 - Balança analítica, modelo Marte AY220



Fonte: Próprio autor, 2016

Com os dados obtidos, calculou-se a concentração de particulados retidos em cada estágio, a partir da Equação 1.

$$MP = M_f - M_i \quad (1)$$

Onde: MP – massa de material particulado (g); M_f – massa final do filtro (carregado de partículas) (g); M_i – massa inicial do filtro virgem (g);

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Amostragem no Laboratório de Serraria e Beneficiamento

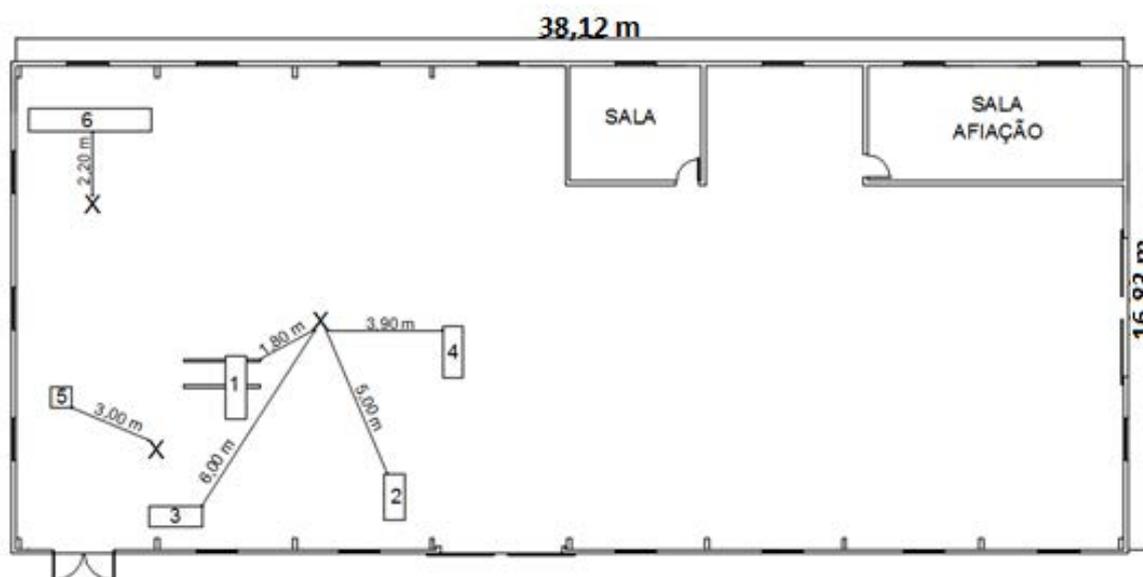
5.1.1 Amostragem 1

A primeira amostragem efetuada neste laboratório foi dividida em dois dias:

- i) 14 de outubro de 2015, período no qual foram monitoradas as emissões de particulados provenientes da esquadrejadeira, desengrossadeira, desempenadeira, serra fita e tupia; ii) 20 de outubro de 2015, quando foi realizada a amostragem da lixadeira.

As distâncias obtidas em função do posicionamento do amostrador de partículas em relação aos equipamentos de corte são apresentadas na Figura 24.

Figura 24 - Planta baixa do Laboratório de Serraria e Usinagem com as distâncias de posicionamento dos pontos de coleta em relação aos maquinários analisados



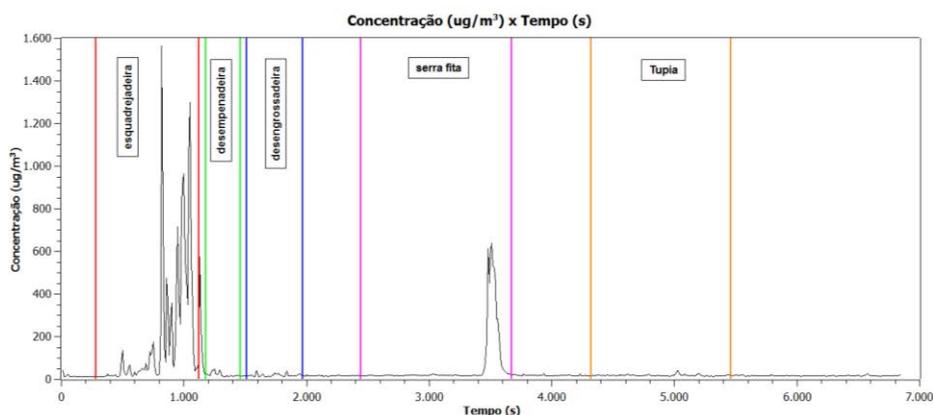
Legenda:

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. Esquadrejadeira | 2. Desengrossadeira |
| 3. Desempenadeira | 4. Serra de fita |
| 5. Tupia | 6. Lixadeira |
| X – Ponto amostral | |

Fonte: Adaptado de UNESP Itapeva, 2016

No período das 09h28min às 11h22 min foram monitoradas as emissões de particulados provenientes da esquadrejadeira, desgrossadeira, desempenadeira, serra fita e tupia. Os dados relativos às concentrações de particulados emitidos por estes equipamentos foram adquiridos com o auxílio do equipamento DataRam 4. A Figura 25 apresenta a variação da concentração de partículas em função do tempo total de amostragem.

Figura 25 - Variação da Concentração dos particulados em função do tempo total de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

A partir dos dados apresentados na Figura 25, verifica-se uma concentração máxima amostrada de $1.564 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mínima de $11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e média de $48,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ao comparar os diferentes equipamentos nota-se que a máquina de corte esquadrejadeira foi a que apresentou maior emissão de particulados, atingindo uma concentração média de $193,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida pela serra fita com $57,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, desempenadeira com $22,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, desgrossadeira com $18,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e tupia com $18,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ao comparar estes resultados com os padrões de referência de qualidade do ar interior estabelecido pela ANVISA (na qual se considera $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como a concentração máxima permitida por partículas totais em suspensão, em amostragens com período de 24 horas), constata-se que a esquadrejadeira foi o único equipamento que apresentou uma concentração média acima dos limites toleráveis, fato que pode estar relacionado à distância de posicionamento entre o ponto de amostragem e o equipamento monitorado.

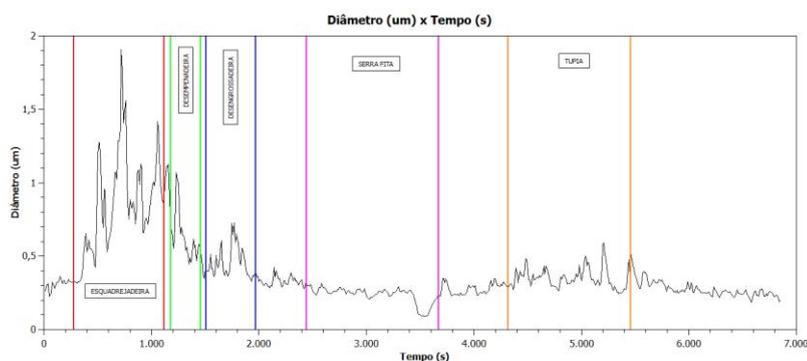
Quanto ao nível de exposição ocupacional, todos os valores encontram-se dentro do limite de tolerância estabelecido pela ACGIH (*American Conference of*

Governmental Industrial Hygienists) de $0,88 \text{ mg/m}^3$ para a jornada de trabalho brasileira de 44h semanais, considerando a exposição em fração de poeira total (PT) a poeiras de madeira mole.

A Figura 26 ilustra a variação do diâmetro das partículas em função do tempo total de amostragem de acordo com cada equipamento analisado. O diâmetro máximo amostrado foi de $1,90 \mu\text{m}$, o mínimo de $0,09 \mu\text{m}$ e o médio de $0,39 \mu\text{m}$. As partículas concentraram-se na faixa diametral entre $0,1 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$, devendo ser classificadas como fração de partículas finas respiráveis, de grande periculosidade à saúde humana, principalmente devido à capacidade de penetrar no sistema respiratório e atingir os pulmões. Ao se comparar os diferentes equipamentos define-se a serra fita como maior geradora de partículas de menores granulometrias, levando a um diâmetro médio das partículas de $0,24 \mu\text{m}$, e a esquadrejadeira com maior emissão de partículas de maiores dimensões, com média diametral de $0,86 \mu\text{m}$.

É importante ressaltar o tempo decorrido da produção do particulado até a sua detecção no caso da serra fita. Nota-se que a concentração e diâmetro médio do particulado detectado no início de operação deste equipamento é da mesma ordem do observado antes do início da amostragem, contudo após aproximadamente 17 minutos do início de operação da máquina observa-se um aumento considerável da concentração de particulados, seguido por uma redução significativa do diâmetro do particulado detectado. Tal resultado está associado ao tempo de dispersão dos particulados no ar do ambiente, o qual deve ser maior para partículas menores.

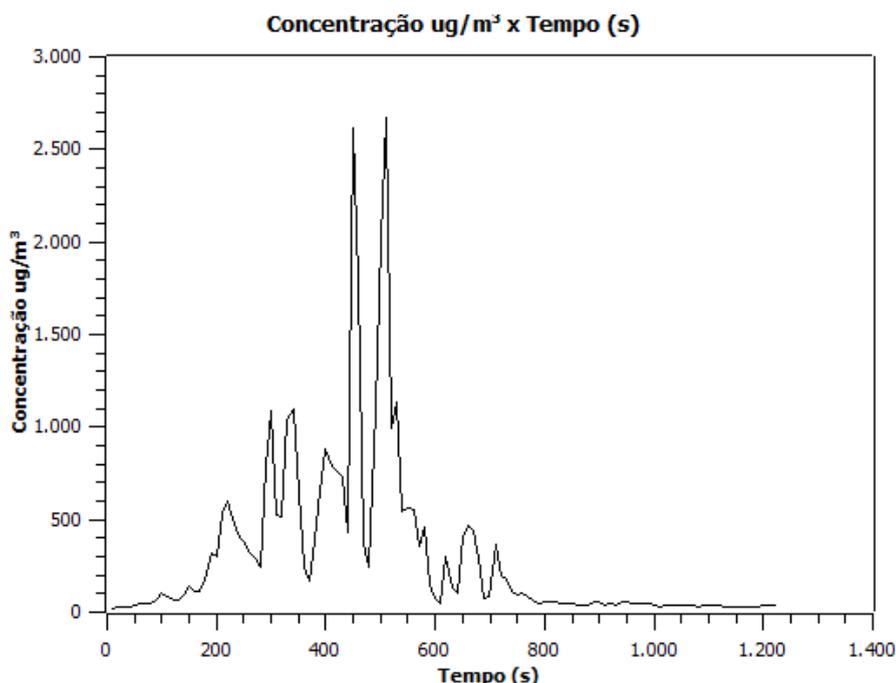
Figura 26 - Variação diametral das partículas em função do tempo total de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

O monitoramento das emissões oriundas da lixadeira foi efetuado no dia 20 de outubro de 2016 no período das 14h18min às 14h30min. Na Figura 27 são mostrados os resultados referentes à variação da concentração de material particulado em função do tempo de amostragem.

Figura 27 - Variação da concentração de material particulado em função do tempo de amostragem

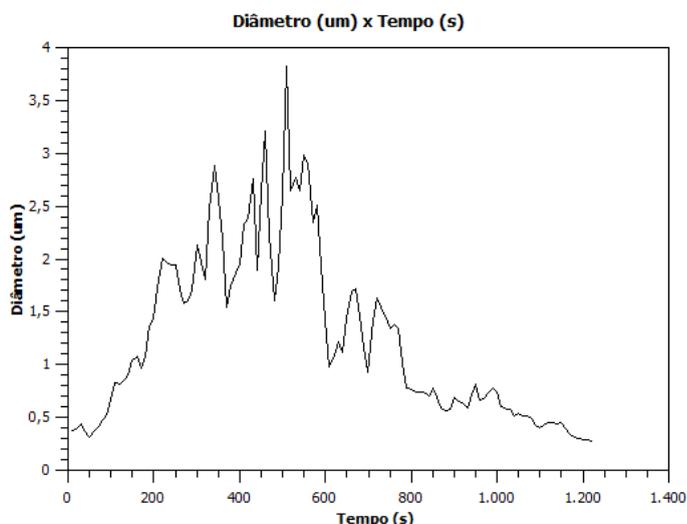


Fonte: Próprio autor, 2016

A concentração média das partículas coletadas na lixadeira foi de $302,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a máxima de $2668,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a mínima de $19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ao analisar estes resultados, verifica-se uma concentração média de particulados totais em suspensão superior aos $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendados pela ANVISA. Em se tratando da exposição laboral ao particulado de madeira, o resultado demonstra-se estar de acordo com o padrão estabelecido de $880 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pela ACGHI.

Na Figura 28 podem ser observados os resultados dos dados coletados referentes à variação diametral em função do tempo de amostragem. O diâmetro médio das partículas corresponde a $1,25 \mu\text{m}$, o máximo de $3,83 \mu\text{m}$ e o mínimo de $0,27 \mu\text{m}$. De modo geral, as partículas revelaram possuir granulometrias menores que $2,5 \mu\text{m}$, vindo novamente a serem classificadas como finas e respiráveis, com alto potencial de risco para a saúde humana.

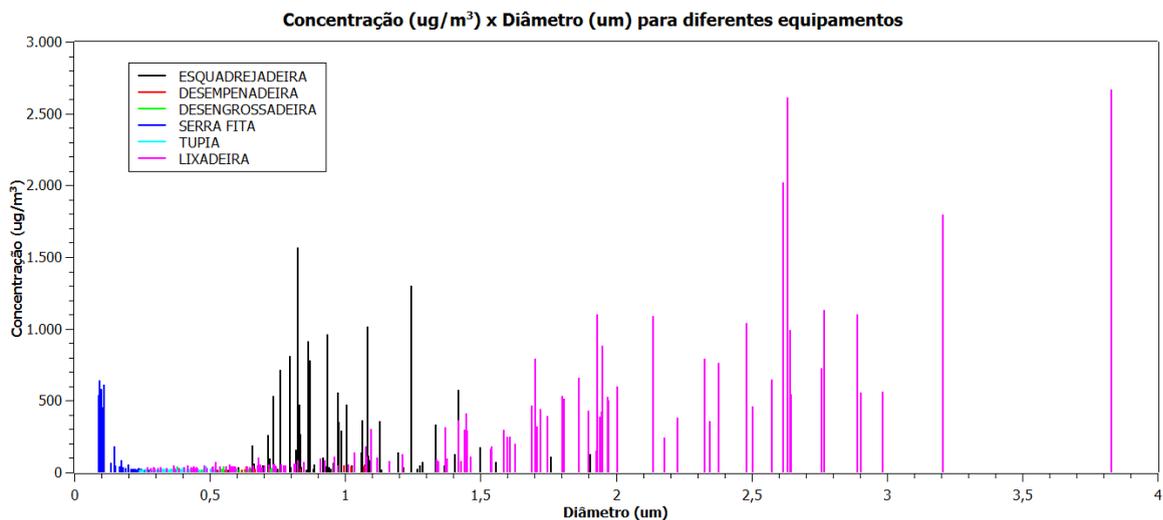
Figura 28 - Variação diametral das partículas em relação ao tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

Visando melhor avaliar a relação entre as concentrações e o diâmetro dos particulados obtidos nos dois dias de amostragem, na Figura 29 tem-se ilustrado o gráfico da concentração de material particulado em função da variação do diâmetro das partículas.

Figura 29 - Concentração de material particulado em função da variação do diâmetro das partículas



Fonte: Próprio autor, 2016

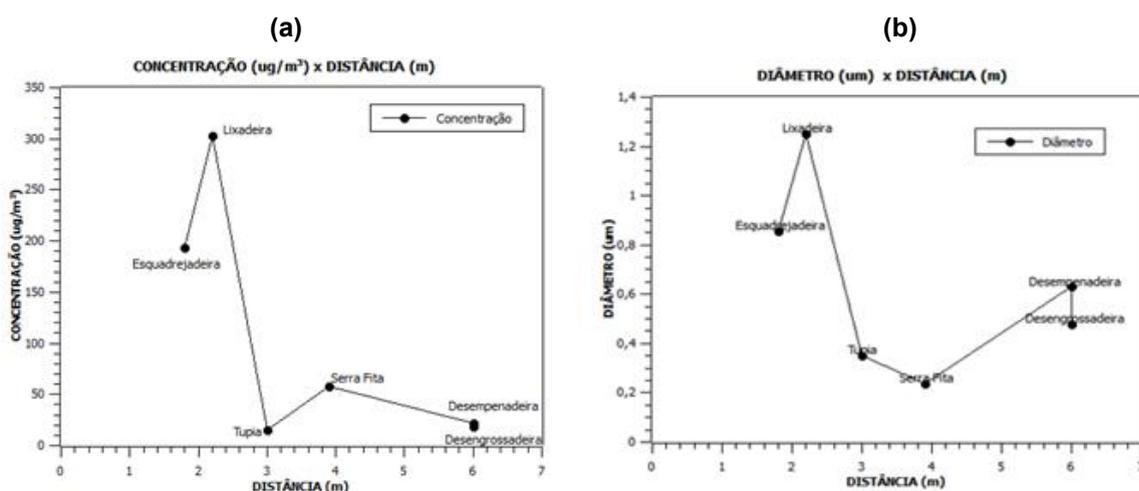
Como se pode notar, as maiores concentrações obtidas corresponderam a partículas de maiores diâmetros, estando mais associadas à lixadeira. A maior

concentração registrada neste equipamento foi de $2668,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondendo a um diâmetro de $3,83 \mu\text{m}$. Em geral, a concentração de partículas respiráveis ($\text{PM}_{2,5}$) apresentaram um valor médio de $68,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ultrapassando os limites médios diários de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2,5}$, segundo a OMS.

É importante frisar que todos os equipamentos medidos possuem certa emissão de particulado com diâmetro entre $0,2$ e $0,8 \mu\text{m}$.

Visando avaliar o quanto a emissão de particulados dependia da distância do equipamento emissor ao ponto de coleta, buscou-se avaliar qual a relação entre as concentrações e diâmetros médios, com a distância (Figuras 30a e 30b).

Figura 30 - (a) Concentração média de material particulado em função da distância entre o equipamento emissor e o ponto de coleta; (b) Diâmetro médio das partículas em função da distância entre o equipamento emissor e o ponto de coleta



Fonte: Próprio autor, 2016

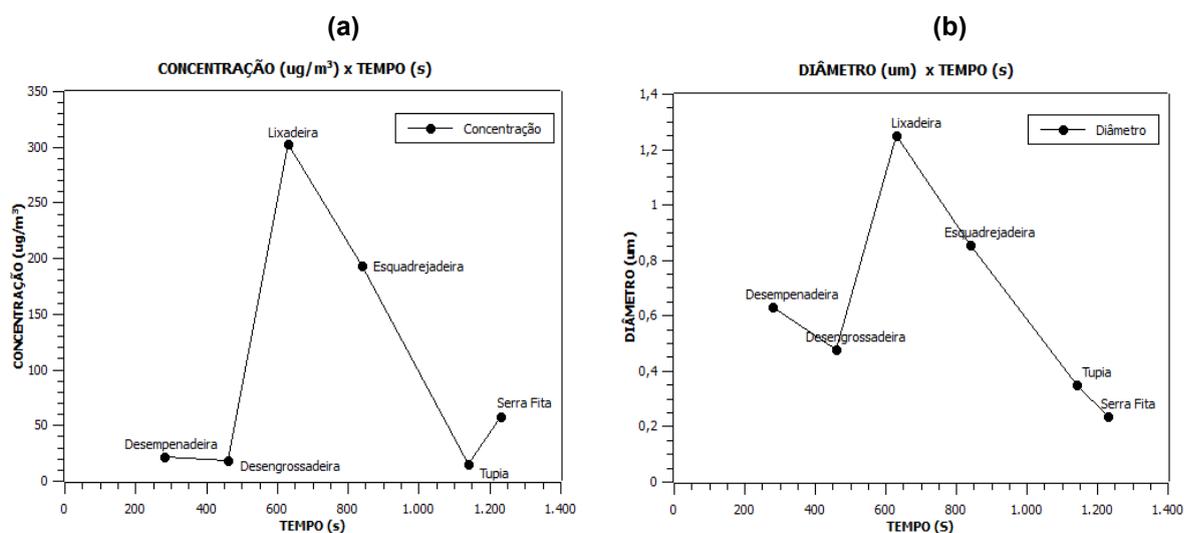
Como pode ser visualizada, a variação da concentração das partículas possui certa relação com a localização do ponto de amostragem. Conforme se aumenta a distância entre as máquinas e o aparelho amostrador, em geral menor é a concentração de partículas coletadas. A respeito da variação diametral das partículas constata-se que a mudança da localização do ponto amostral não apresenta uma influência significativa sobre a variação do tamanho das partículas.

A dependência da concentração com a distância sugere que os particulados gerados apresentam certa tendência a decantarem ao longo da sua

linha de fluxo, o que era de certa forma esperado. Contudo a ausência de uma correlação mais significativa entre a distância do coletor e o diâmetro do particulado coletado indica que tal decantação não depende do tamanho das partículas o que não é de fácil interpretação.

As Figuras 31a e 31b ilustram a relação entre a concentração e diâmetro médio das partículas com o tempo de amostragem. Como pode ser observado, o aumento da concentração de material particulado não está associado com o tempo de duração de operação de cada máquina. Quanto à distribuição diametral verificam-se diâmetros menores obtidos em períodos maiores de amostragem, isso significa que as partículas mais finas tendem a permanecer longo período em suspensão no ar, oferecendo maior chance de penetração no organismo humano.

Figura 31 - (a) Concentração média de material particulado em função do tempo de amostragem; (b) Variação média diametral das partículas em função do tempo de amostragem



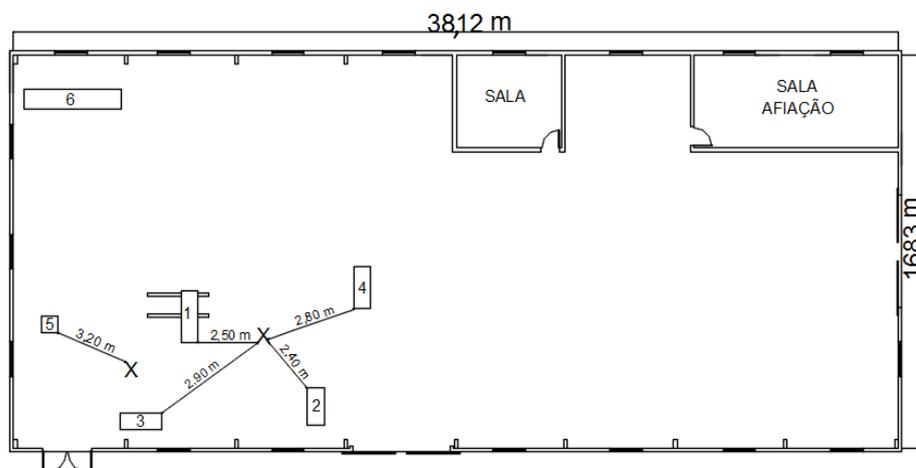
Fonte: Próprio autor, 2016

5.1.2 Amostragem 2

No dia 29 de outubro de 2015 no período da 13h58min às 15h51min realizou-se a segunda amostragem no laboratório de Serraria e Beneficiamento. Nesta amostragem foram monitoradas as emissões de particulados oriundos da esquadrejadeira, desengrossadeira, desempenadeira, serra fita e tupia.

As distâncias correspondentes à localização dos pontos amostrais em relação a cada maquinário são apresentadas na Figura 32.

Figura 32- Planta baixa do Laboratório de Serraria e Usinagem com as distâncias de posicionamento dos pontos de coleta em relação aos maquinários analisados



Legenda:

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. Esquadrejadeira | 2. Desengrossadeira |
| 3. Desempenadeira | 4. Serra de fita |
| 5. Tupia | 6. Lixadeira |

X – Ponto amostral

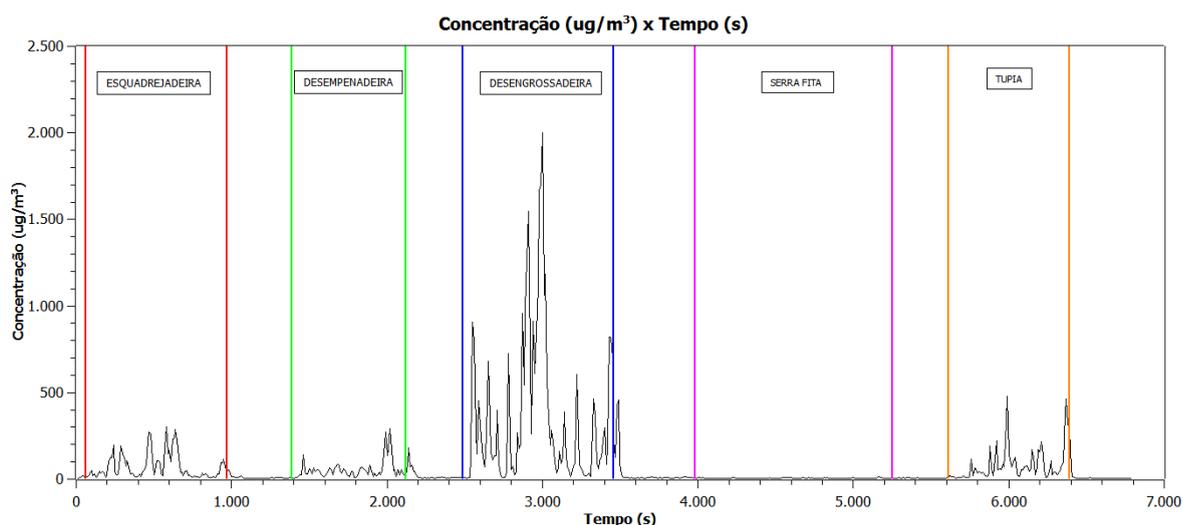
Fonte: Adaptado de UNESP Itapeva, 2016

A Figura 33 apresenta os dados referentes à concentração coletada de partículas em função do tempo total de amostragem para cada máquina operada. A concentração média obtida foi de $81,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo a máxima de $2001,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a mínima de $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A desengrossadeira apresenta-se como o equipamento de maior emissão de particulado, atingindo uma média de $349,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida pela tupia ($83,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$), esquadrejadeira ($71,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$), desempenadeira ($53,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e serra fita ($6,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Os resultados apresentaram concentrações médias elevadas para desengrossadeira e tupia, ultrapassando os padrões nacionais de qualidade do ar para partículas, referentes a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Em comparação com a amostragem 1 nota-se uma redução da concentração de particulado coletado para a esquadrejadeira e serra fita. No caso da esquadrejadeira notou-se uma redução de quatro vezes da concentração, na qual pode ser atribuído ao aumento da distância em relação ao ponto de amostragem. Em relação à desengrossadeira e desempenadeira tal aumento da concentração

pode ser atribuído a redução da distância ao ponto de coleta na amostragem 2. Resultados anômalos foram obtidos para serra fita, podendo ser atribuídos ao tempo de coleta insuficiente e/ou disposição da ferramenta de corte específica destes equipamentos ao amostrador.

Figura 33 - Variação da Concentração dos particulados em função do tempo total de amostragem.



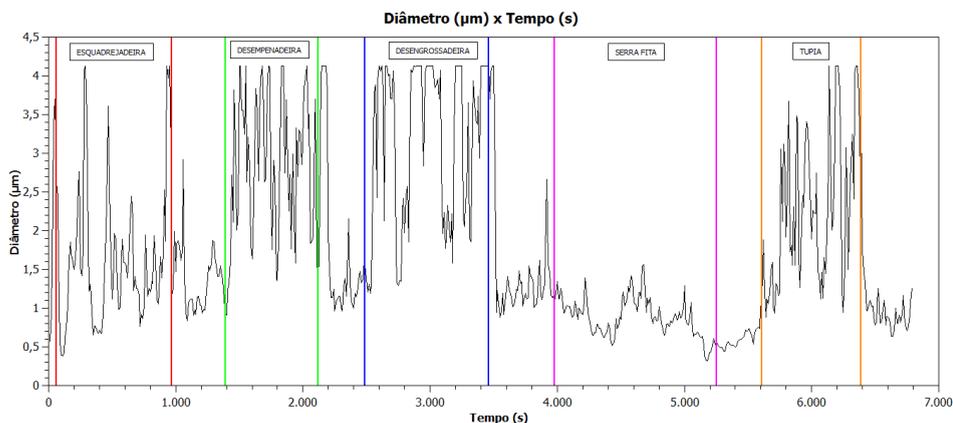
Fonte: Próprio autor, 2016

Os dados obtidos referentes à variação do diâmetro das partículas em função do tempo total de amostragem durante a operação de cada equipamento é apresentado na Figura 34. O diâmetro médio das partículas amostradas foi de $1,81 \mu\text{m}$, o máximo de $4,13 \mu\text{m}$ e o mínimo de $0,32 \mu\text{m}$. As partículas de maiores granulometrias foram provenientes da desengrossadeira com diâmetro médio de $3,17 \mu\text{m}$ e da desempenadeira com diâmetro médio de $2,83 \mu\text{m}$, podendo ter relação com o tipo de usinagem realizado nestes equipamentos. A serra fita apresenta-se como a principal emissora de partículas finas, com média diametral de $0,88 \mu\text{m}$.

Em comparação com os dados obtidos na amostragem 1 percebe-se um aumento significativo no diâmetro das partículas, chegando inclusive ao limite máximo de detecção do DataRam 4 ($4 \mu\text{m}$). Por outro lado observa-se que tais partículas decantam logo após o fim da usinagem, o que sugere que nesta amostragem o DataRam 4 foi colocado muito próximo dos equipamentos de usinagem. Outra característica importante é a presença de partículas de aproximadamente de $0,6 \mu\text{m}$ mesmo antes do processo de usinagem. A presença

destes particulados podem ter influenciado negativamente na aferição dos particulados emitidos pela serra fita (com diâmetro próximo ao limite mínimo de detecção do DR 4).

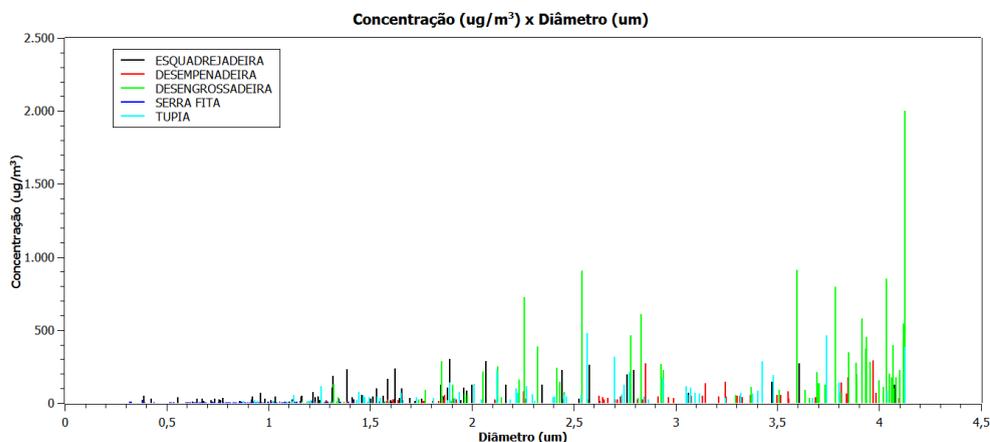
Figura 34 - Variação diametral dos particulados em função do tempo total de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

Na Figura 35 tem-se a relação entre a concentração de material particulado emitido e seu diâmetro correspondente. As maiores concentrações corresponderam a partículas de dimensões maiores, originadas na desengrossadeira, no qual a concentração média obtida foi de $349,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondendo a um diâmetro médio de $3,17 \mu\text{m}$. Quanto a análise da concentração de partículas respiráveis ($\text{PM}_{2,5}$), verifica-se um valor médio de $26,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o qual é superior a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ padrão permitido de $\text{PM}_{2,5}$ para a OMS.

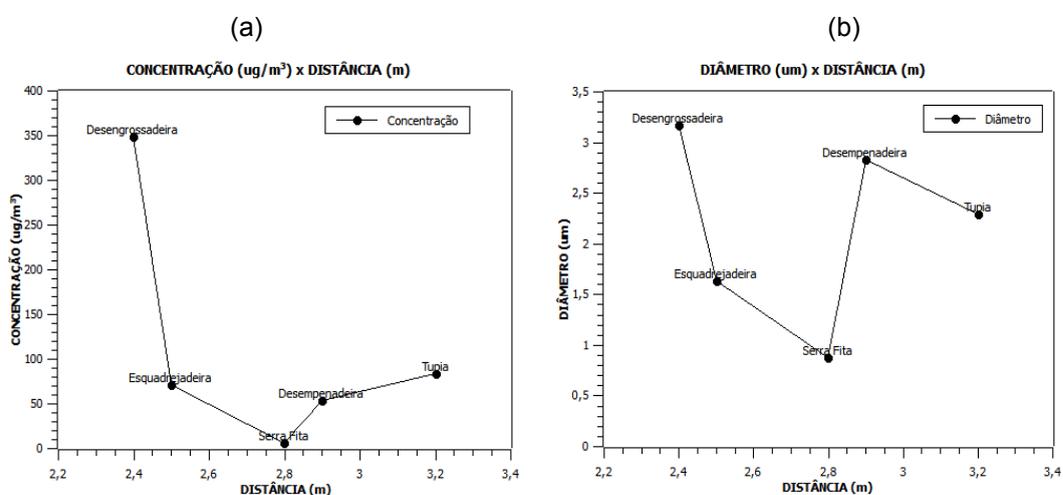
Figura 35 - Variação da concentração de material particulado em função da distribuição diametral



Fonte: Próprio autor, 2016

A relação entre os valores médios obtidos da concentração e diâmetro de material particulado em função da distância entre o ponto de coleta e a máquina de processamento é evidenciada nas Figuras 36a e 36b. De modo geral, analogamente à amostragem 1, a concentração das partículas se mostra influenciada pela distância do ponto de coleta, enquanto que a dimensão das partículas não demonstram estar correlacionadas à distância.

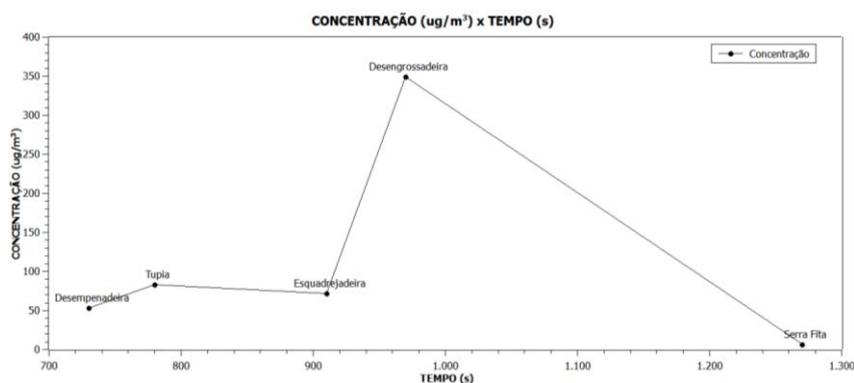
Figura 36 - (a) Variação média da concentração de particulado em função da distância do ponto amostral; (b) Variação diametral média das partículas em função da distância do ponto amostral



Fonte: Próprio autor, 2016

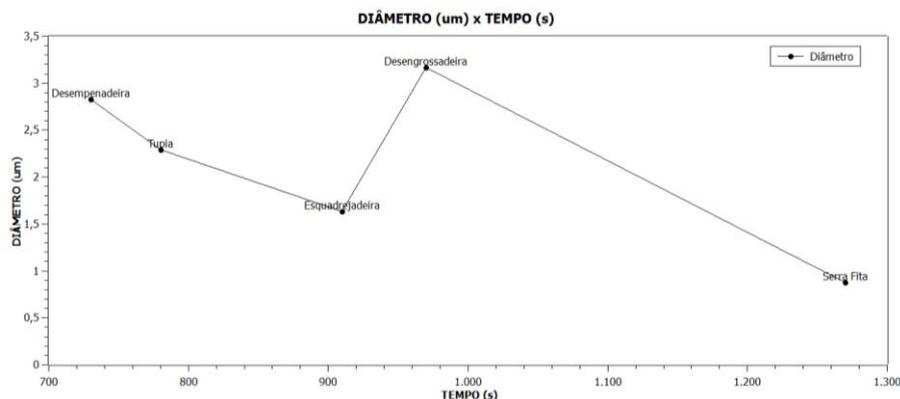
Nas Figuras 37 e 38 são expressos os valores médios referentes à concentração e diâmetro das partículas em função do período de amostragem.

Figura 37 - Valores médios referentes à concentração das partículas correspondente ao período de amostragem.



Fonte: Próprio autor, 2016

Figura 38 - Valores médios referentes ao diâmetro das partículas correspondente ao período de amostragem



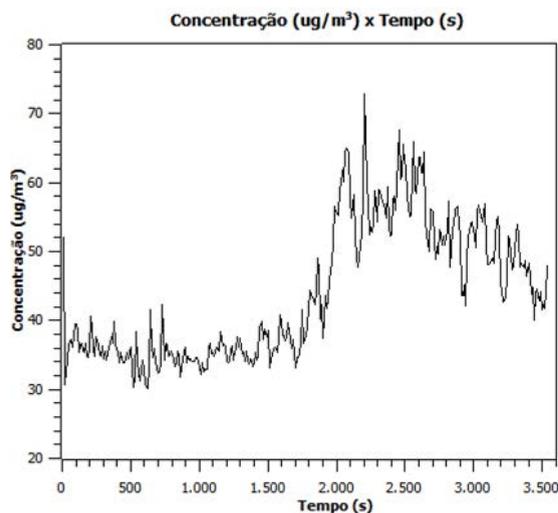
Fonte: Próprio autor, 2016

5.2 Amostragem no Laboratório de Usinagem e Automação

A amostragem neste ambiente ocorreu no dia 21 de outubro de 2015, entre 13h35min às 14h34min. Para esta amostragem o DataRam 4 foi posicionado a uma distância de 3,20m da CNC. O processo de usinagem com a CNC iniciou-se às 13h39min e encerrou-se às 14h09min.

Os resultados obtidos referentes à concentração de particulado durante o tempo de amostragem são apresentados na Figura 39. A concentração média obtida foi de $43,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo a máxima de $72,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e a mínima de $30,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mantendo-se dentro dos padrões permitidos pela ANVISA ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

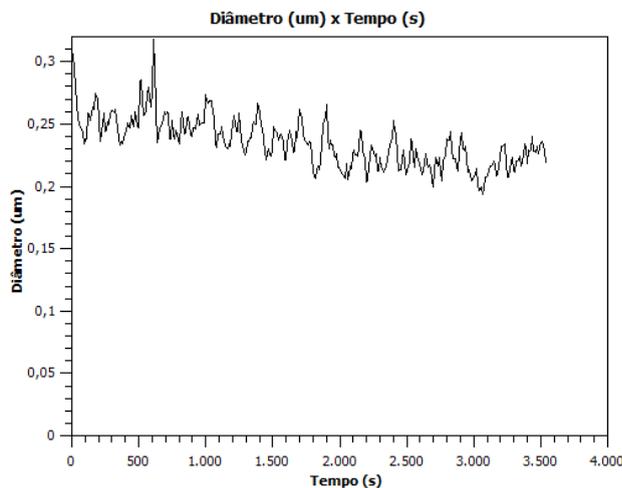
Figura 39 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

A Figura 40 exibe a variação do diâmetro de particulado em função do tempo de amostragem. O diâmetro médio obtido foi de 0,23 μm , o máximo de 0,32 μm e o mínimo de 0,19 μm .

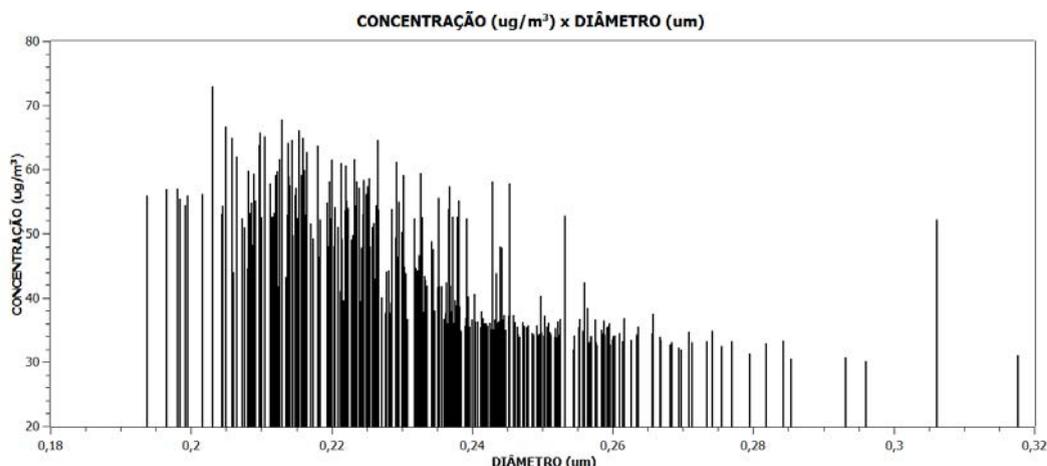
Figura 40 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

A relação entre a variação da concentração de particulado e a distribuição diametral correspondente é exibida pela Figura 41. A maior parte das concentrações se manteve na faixa diametral entre 0,2 a 0,26 μm . A concentração média de $\text{PM}_{2,5}$ foi de 43,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ apresentando-se acima dos padrões recomendados pela OMS de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Figura 41 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente

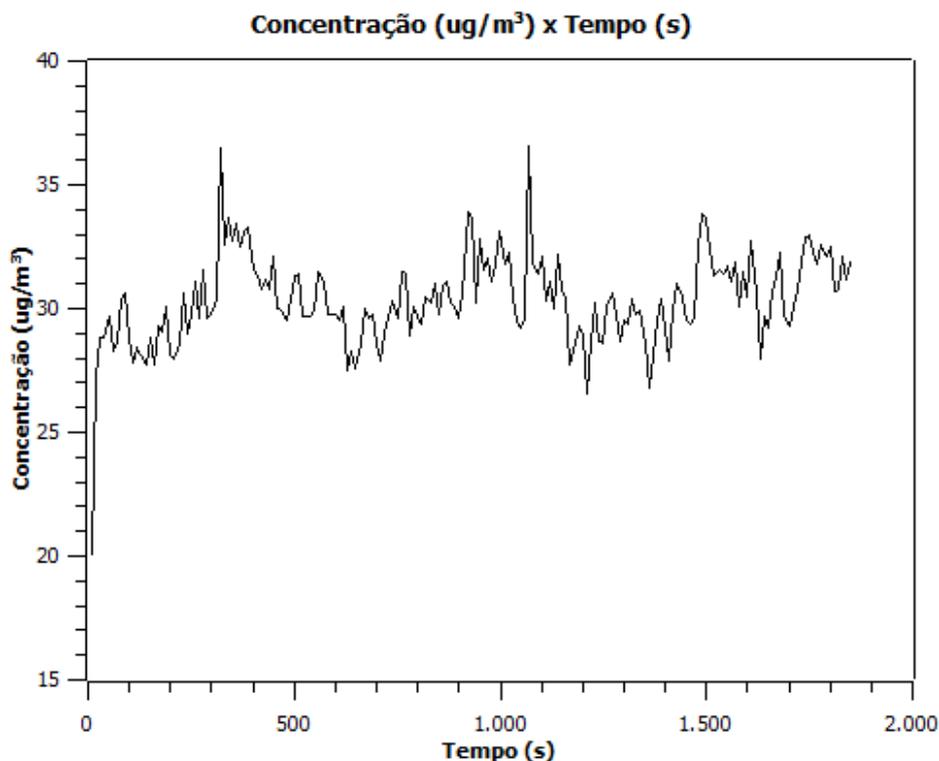


Fonte: Próprio autor, 2016

5.3 Amostragem no Laboratório de Fenômenos de transporte, Energia e Controle Ambiental

No dia 15 de outubro de 2015, no período das 10h08min às 10h38min realizaram-se as amostragens de particulado no Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental. Os resultados obtidos referentes à concentração de particulado durante o tempo de amostragem são apresentados na Figura 42. Como se pode notar houve uma pequena variação da concentração de particulados ao longo do tempo de amostragem. A concentração média obtida foi de $30,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo a máxima de $36,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a mínima de $20,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

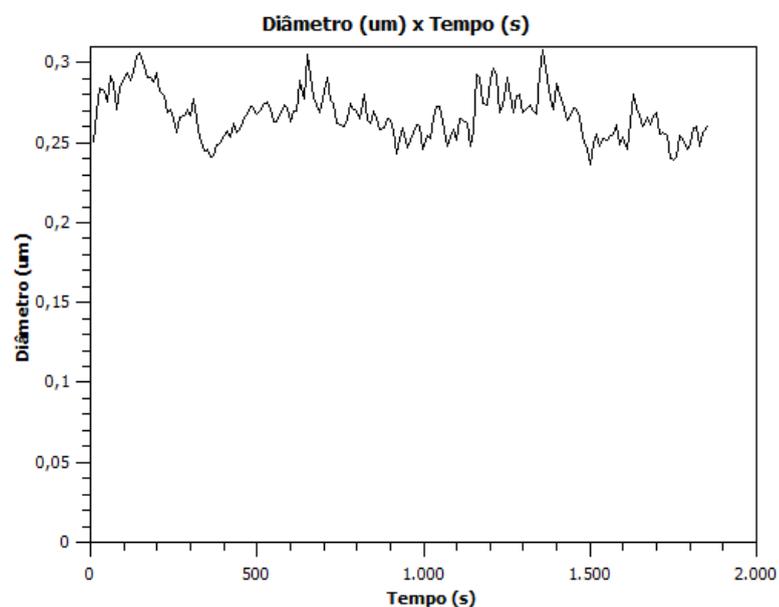
Figura 42 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

Na Figura 43 é exibido o resultado referente à distribuição diametral das partículas ao longo do tempo de amostragem. Nota-se novamente que houve pouca variação no tamanho das partículas, permanecendo nas faixas diametral entre $0,28$ a $0,30 \mu\text{m}$, pertencentes à classe de partículas respiráveis, danosas a saúde. O diâmetro médio obtido foi de $0,27 \mu\text{m}$, o máximo de $0,31 \mu\text{m}$ e o mínimo de $0,24 \mu\text{m}$.

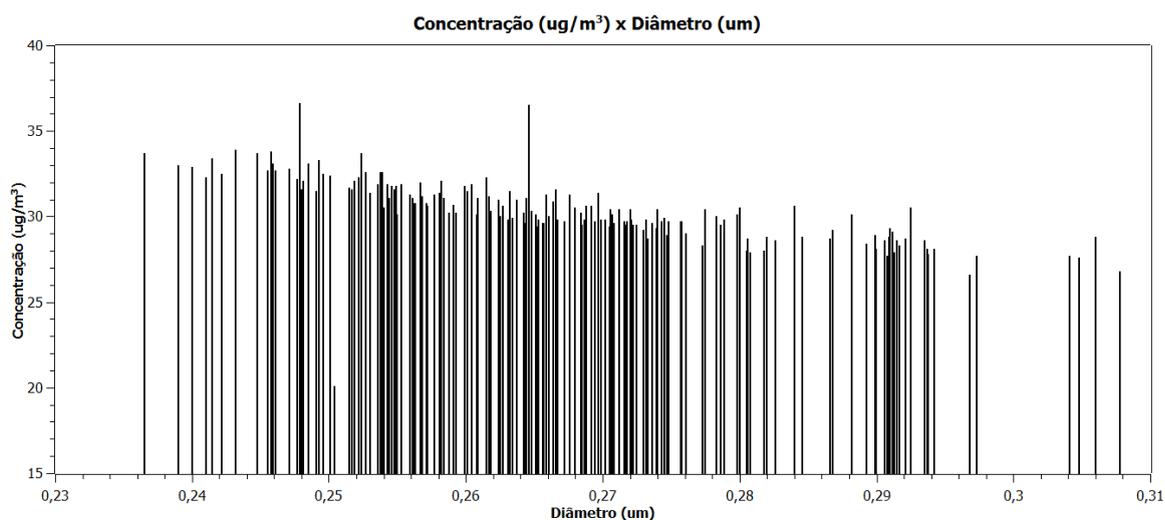
Figura 43 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

A relação entre a variação da concentração de particulado e a distribuição diametral correspondente é exibida pela Figura 44. As partículas apresentam-se em uma distribuição contínua na faixa de diâmetro entre 0,24 a 0,31 μm . A concentração de $\text{PM}_{2,5}$ mostra-se acima dos padrões da OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), atingindo uma média de $30,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 44 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente

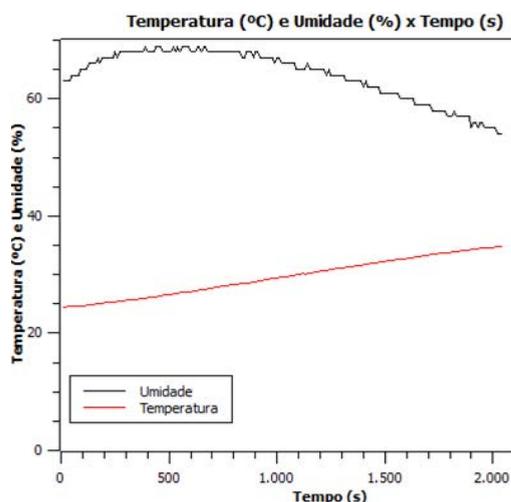


Fonte: Próprio autor, 2016

5.4 Amostragem Ambiente Externo – Laboratório de Serraria e Beneficiamento

A amostragem no ambiente externo do laboratório de Serraria e beneficiamento decorreu-se no dia 15 de outubro de 2015, entre 09h19min e 09h52min, um dia após a primeira amostragem interna do laboratório de Serraria e Beneficiamento. Os dados referentes à temperatura e umidade relativa do ar são apresentados na Figura 45, onde se obteve médias equivalentes a 29,57 °C e 63,99%, respectivamente. A temperatura apresentou uma variação de 10,3 °C, enquanto a umidade do ar variou em 15%, durante um período de amostragem de 30 min.

Figura 45 - Variação da temperatura e umidade relativa pelo tempo de amostragem

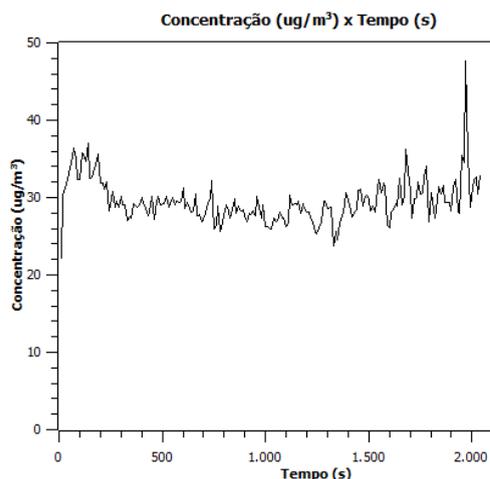


Fonte: Próprio autor, 2016

Os resultados da concentração de material particulado pelo tempo total de amostragem são apresentados na Figura 46. A concentração máxima obtida foi de 47,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a mínima de 22,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a média foi de 29,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nota-se pouca variação da concentração em relação ao tempo de amostragem. O pico mais alto observado no gráfico no final do período de amostragem é decorrente da mudança de direção do vento. Comparando-se tais dados com o trabalho de Santos (2012), onde se obteve a concentração média de 9,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no ambiente externo da biblioteca da UNESP Itapeva, verifica-se uma grande influência das atividades realizadas no ambiente interno sobre o externo. Aparentemente a produção de particulado no laboratório de serraria e beneficiamento faz com que a concentração

destes no ambiente externo seja elevada. No entanto, cabe ressaltar que os ambientes nos quais a serraria e a biblioteca se encontram são distintos, sendo difícil estimar a influência de outros fatores como vento e a presença de vegetação no terreno.

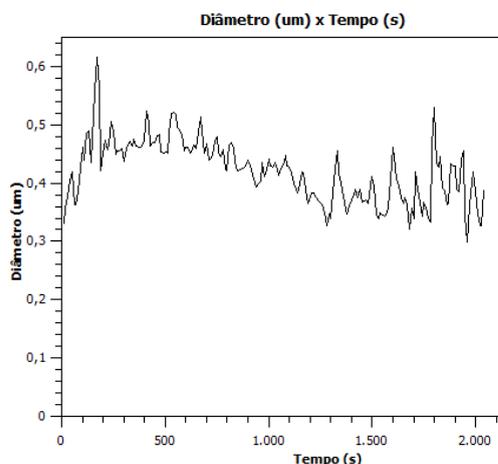
Figura 46 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

Na Figura 47 tem-se a distribuição diametral das partículas de acordo com o tempo transcorrido de amostragem. O diâmetro máximo obtido foi de 0,61 μm , o mínimo de 0,30 μm e o médio de 0,42 μm . A maior parte dos particulados são finos, concentrando-se nas faixas diametraes de 0,32 μm a 0,48 μm , com grande probabilidade de quando inalados penetrarem diretamente sobre os pulmões.

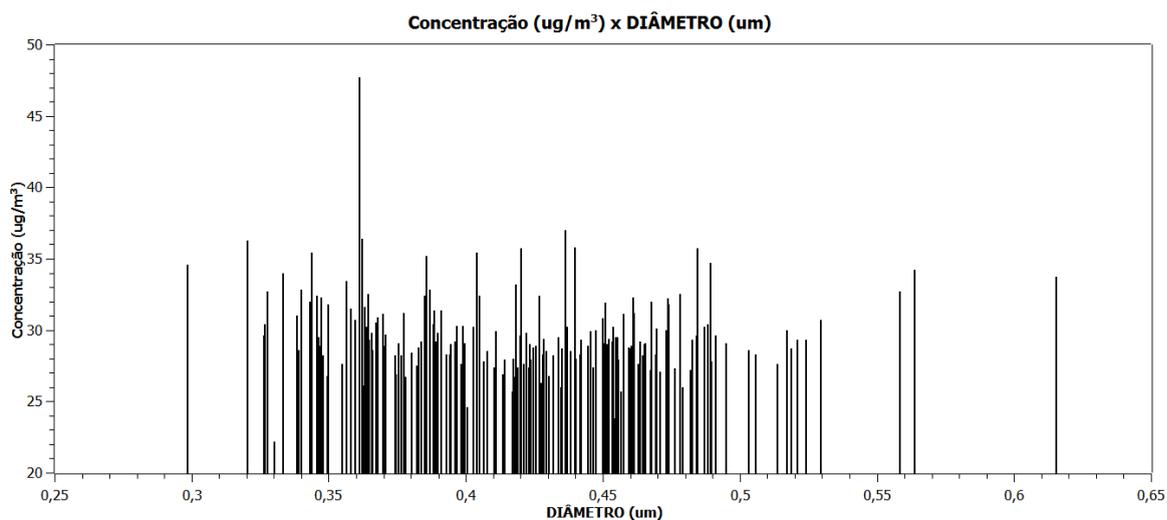
Figura 47 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

A Figura 48 exibe a variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente. A maior parte das concentrações se manteve na faixa diametral entre 0,33 μm a 0,49 μm . As concentrações de partículas respiráveis ($\text{PM}_{2,5}$) apresentaram um valor médio de 29,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ultrapassando os limites médios diários de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2,5}$, segundo a OMS.

Figura 48 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente.



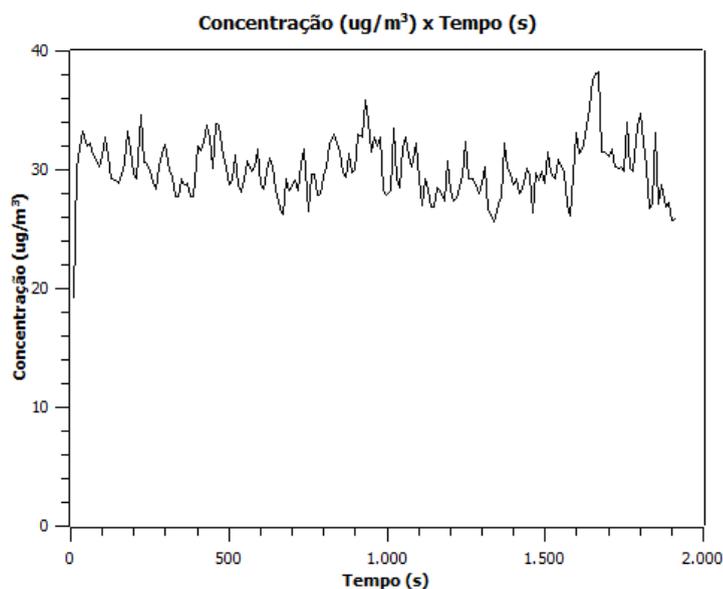
Fonte: Próprio autor, 2016

5.5 Amostragem do Ambiente Externo – Laboratórios de Usinagem e Automação e Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental

A amostragem externa referente aos Laboratórios de Usinagem e Automação e Fenômenos de transporte, Energia e Controle Ambiental foi efetuada no dia 15 de outubro de 2015. Por se encontrarem num mesmo prédio, foi realizada apenas uma amostragem de ambiente externo para estes laboratórios.

Os resultados referentes à concentração de particulado durante o tempo de amostragem são apresentados na Figura 49. Nota-se uma pequena variação da concentração de particulados ao longo do tempo de amostragem. A concentração média obtida foi de 30,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo a máxima de 38,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e a mínima de 19,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Comparando estes valores com os obtidos nas amostragens internas realizadas nos laboratórios de Usinagem e Automação, e Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental, observa-se nenhuma influência do meio interno sobre o externo, isto devido pouca variação da concentração das partículas.

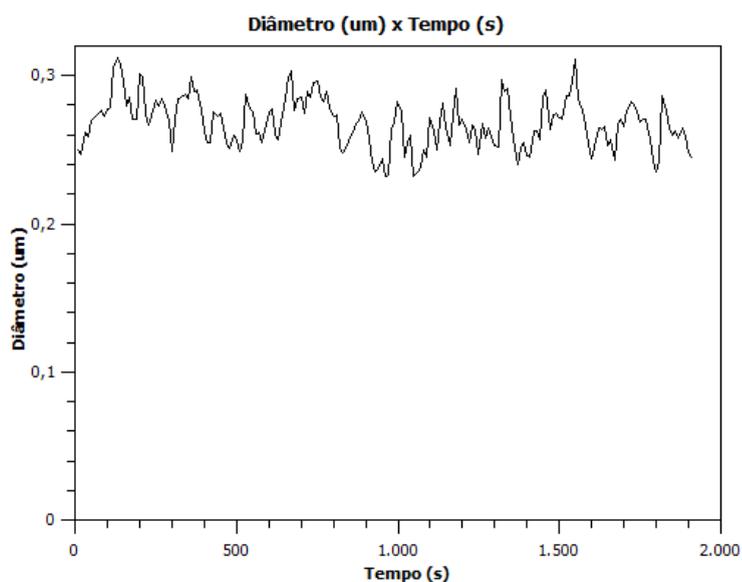
Figura 49 - Concentração de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

Na Figura 50 é exibido o resultado referente à distribuição diametral das partículas ao longo do tempo de amostragem. Como se pode observar, as partículas apresentam uma distribuição diametral contínua ao longo do tempo, permanecendo na faixa diametral entre 0,28 a 0,30 μm . O diâmetro médio coletado foi de 0,27 μm , o mínimo de 0,23 μm e o máximo de 0,31 μm .

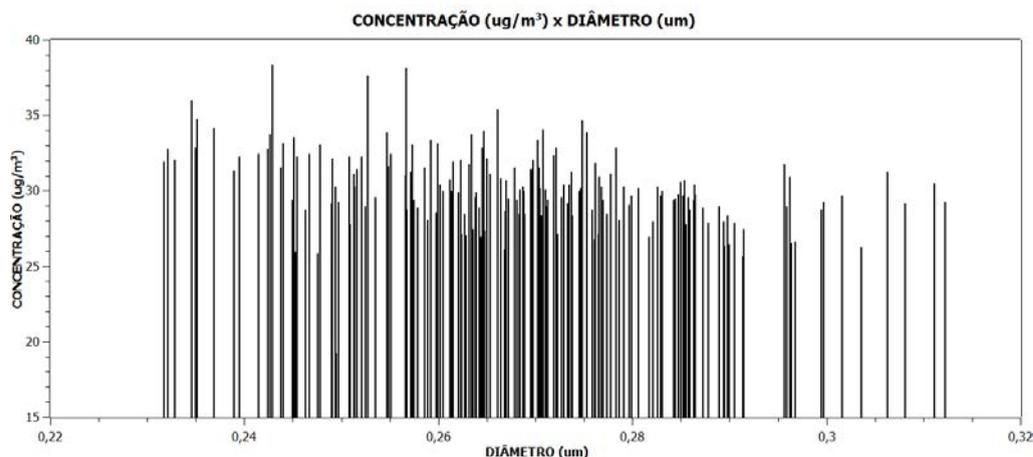
Figura 50 - Diâmetro de material particulado pelo tempo de amostragem



Fonte: Próprio autor, 2016

A relação entre a variação da concentração de particulado e a distribuição diametral correspondente é exibida pela Figura 51. Novamente nota-se que as partículas apresentam-se em uma distribuição bastante uniforme. Os resultados para $PM_{2,5}$ foram superiores aos recomendados pela OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) com média de $30,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 51 - Variação da concentração de particulado em função do diâmetro correspondente



Fonte: Próprio autor, 2016

5.6 Análise da Temperatura nos Ambientes internos

A Tabela 11 ilustra os valores referentes à temperatura média, mínima e máxima obtida em cada laboratório. A temperatura média entre os três laboratórios foi de $31,32 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabela 11 – Temperatura média, mínima e máxima obtida em cada laboratório

| Ambientes | Temperatura ($^\circ\text{C}$) | | | Desvio Padrão ($^\circ\text{C}$) | Data da amostragem |
|---|----------------------------------|--------|--------|------------------------------------|--------------------|
| | Média | Mínima | Máxima | | |
| Laboratório de Serraria | 28,37 | 24,60 | 31,20 | 2,30 | 14/10 |
| Laboratório Automação (CNC) | 28,88 | 25,60 | 32,10 | 2,17 | 21/10 |
| Laboratório Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental | 36,72 | 35,80 | 37,30 | 0,54 | 15/10 |

Fonte: Próprio autor, 2016

A Norma regulamentadora nº 17 (Ergonomia) do Ministério do Trabalho e Emprego, regulamentada pela Portaria Nº 3.214, de 08 de Junho de 1978, estabelece parâmetros que permitam melhores condições no ambiente laboral. De acordo com o subitem 17.5.2 da norma, locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas índices de temperatura efetiva entre 20°C e 23°C.

Verifica-se que a temperatura média obtida em todos os ambientes ultrapassaram os limites estabelecidos pela NR 17.

O laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental foi o ambiente que apresentou uma temperatura média mais elevada, com valor de 36,72°C. Enquanto que o laboratório de serraria registrou a menor temperatura média, correspondente a 28,37°C.

Por ambiente nota-se que os laboratórios de Serraria e de Automação apresentaram maior variação entre os valores extremos de temperatura, sendo de 6,60 °C e 6,50°C, respectivamente.

5.7 Análise da Umidade relativa nos Ambientes internos

A Tabela 12 apresenta os dados coletados referentes à umidade relativa do ar para cada ambiente analisado.

Tabela 12 - Umidade relativa do ar obtida em cada laboratório

| Ambientes | Umidade (%) | | | Desvio Padrão (%) | Data da amostragem |
|---|-------------|--------|--------|-------------------|--------------------|
| | Média | Mínima | Máxima | | |
| Laboratório de Serraria | 63,71 | 56,00 | 70,00 | 4,82 | 14/10 |
| Laboratório Automação (CNC) | 62,11 | 56,00 | 66,00 | 3,58 | 21/10 |
| Laboratório Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental | 46,30 | 45,00 | 51,00 | 2,38 | 15/10 |

Fonte: Próprio autor, 2016

De forma a garantir as condições ambientais de conforto nos ambientes de trabalho a NR 17 estabelece que a umidade relativa do ar não seja inferior a 40

%. A umidade relativa média obtida nos ambientes foi de 57,37% estando de acordo com as exigências da NR 17. Analisando por ambientes, nota-se que os laboratórios de Serraria, Automação e Mecânica dos Fluídos apresentam resultados aceitáveis estando de acordo com os padrões estabelecidos por norma.

O laboratório de Mecânica dos Fluídos apresentou baixa umidade relativa média de 46,30%, enquanto que no laboratório de serraria foi registrada a maior média de umidade relativa, equivalente a 63,71%.

Os laboratórios de Serraria e Automação registraram maior variação de 14% e 10%, respectivamente. O laboratório de Mecânica dos Fluídos foi registrado a menor média de variação de umidade, sendo igual a 6%.

5.8 Resultados da Amostragem com Impactador de Cascata

A Tabela 13 mostra a massa coletada de material particulado em relação à distribuição diametral correspondente a cada estágio. O impactador de cascata foi posicionado a cerca de 1m de distância da esquadrejadeira. A amostragem foi iniciada as 08h40min e finalizada às 12h10min.

Tabela 13 - Massa de material particulado coletado em relação à distribuição diametral correspondente a cada estágio.

| Filtro | Estágio | Faixa de tamanho (µm) | Diâmetro dos orifícios (µm) | Massa de particulado (g) |
|--------|---------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1.0 | 0 | 9,0 – 10,0 | 2550 | 0,0002 |
| 1.1 | 1 | 5,8 – 9,0 | 1887 | 0,0004 |
| 1.2 | 2 | 4,7 – 5,8 | 914 | 0,0001 |
| 1.3 | 3 | 3,3 – 4,7 | 711 | 0,0003 |
| 1.4 | 4 | 2,1 – 3,3 | 533 | 0,0006 |
| 1.5 | 5 | 1,1 – 2,1 | 342 | 0,0004 |
| 1.6 | 6 | 0,7 – 1,1 | 254 | 0,0002 |
| 1.7 | 7 | 0,4 – 0,7 | 254 | 0,0001 |
| 1.8 | F | <0,4 | - | 0,0001 |

Fonte: Próprio autor, 2016

Analisando os valores apresentados na Tabela 13 verifica-se que a maior massa coletada foi a referente ao estágio 4 em uma faixa diametral de partícula variando entre 2,1 – 3,3.

Nota-se que a massa de material particulada aferida se encontra no limite de detecção da balança empregada, o que limita a nossa capacidade de interpretação destes resultados. Tal resultado sugere que, dada à baixa densidade do particulado gerado, uma balança de maior precisão deve ser empregada para tais análises.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho avaliou-se a qualidade do ar em ambientes externos e internos de laboratórios acadêmicos, a partir da amostragem de material particulado em suspensão. Os ambientes laboratoriais estudados foram: Laboratório de Serraria e Beneficiamento, Laboratório de Usinagem e Automação e Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental, todos localizados no interior da Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva-SP. Os particulados amostrados foram analisados em níveis de concentração e distribuição diametral das partículas.

Em relação a todas as amostragens realizadas, conclui-se que:

- O Laboratório de Serraria e Beneficiamento é o ambiente que apresentou as maiores emissões de particulados. A maior média de concentração obtida foi decorrente da amostragem 2, atingindo um valor médio de $81,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superior ao recomendado pela ANVISA ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o que representa um potencial de risco à saúde de todos os ocupantes do local. Desde modo, verifica-se a necessidade imprescindível da utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) por parte dos alunos, profissionais e demais ocupantes do local durante a execução de atividades de processamento mecânico da madeira.
- Os níveis de exposição ao material particulado nos Laboratórios de Serraria e Beneficiamento e Usinagem e Automação estão totalmente associados com o distanciamento em relação ao posicionamento das máquinas. Considerando-se uma distância crítica de exposição ao longo dos 3 primeiros metros.
- O menor diâmetro médio de partículas emitidas foi de $0,23 \mu\text{m}$, correspondente à amostragem no laboratório de Usinagem e Automação;
- O tempo de duração da amostragem nos equipamentos de usinagem interfere significativamente sobre a detecção das partículas finas, visto que estas permanecem um maior período em suspensão no ar.
- O Laboratório de Usinagem e Automação apresentou os melhores resultados de padrões de qualidade do ar, isto devido à eficiente remoção de particulados pelo exaustor acoplado à fresadora CNC. As condições apresentadas neste ambiente foram semelhantes às encontradas no laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental;

- Em relação aos ambientes externos, as maiores concentrações foram obtidas no Laboratório de Serraria e Beneficiamento, com média de $47,71\mu\text{g}/\text{m}^3$, o que sugere uma significativa influência das atividades realizadas no ambiente interno sobre o externo, fazendo com que a concentração no ambiente externo seja ainda elevada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, André Luiz de Macedo. **Estudo do fresamento de madeiras em centro de usinagem CNC**. 2013. 103f. TCC (Graduação) – Engenharia Industrial Madeireira, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, SP, 2013.

ALVES, Ana Clara Matias; ROSA, Paula de Freitas; AGUIAR, Mônica Lopes. **Monitoramento ambiental em um laboratório acadêmico de engenharia química: ênfase na qualidade do ar interior**. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.11 n.22, p. 3350-3366, 1 dez. 2015. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/exatas/monitoramento%20ambiental.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH. 2005. TLVs and BEIs – Threshold Limit Values for Chemical Substances and Biological Exposure Indices. 2005. 64p.

AMARAL, Djanira Maria; PIUBELI, Francine Amaral. **A Poluição Atmosférica Interferindo na Qualidade de Vida da Sociedade**. X Simpósio de Engenharia de Produção, 10 a 12 de Novembro de 2003. 10p. Disponível em: <http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_24.pdf> Acesso em: 2 fev. 2016.

BARBOSA, Renan Pereira. **Concentração e dimensão de particulados dispersos no ar em ambientes de marcenarias**. 2014. 34f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES, 2014. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8210_Dissertacao%20Renan_Versao%2005_Final.pdf>. Acesso em: 25 fev.2016.

BARROS, Vinícius Rodrigues. **Fresamento de madeiras de média densidade-MDF**. 2013. 76f. TCC (Graduação) – Engenharia Industrial Madeireira, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, SP, 2013.

BASTO, José Edson. **Qualidade do ar interno**. Itajaí, SC, Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.anest.org.br/arquivos/pdf/conest_10a/Apostila_de_Qualidade_do_Ar_Interno_ITAJAi.pdf>. Acesso em: 04 de ago. 2016.

BRAGA, Benedito et al. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. 313 p.

BRICKUS, Leila S. R.; AQUINO NETO, Francisco R. de. **A qualidade do ar de interiores e a química**. *Química Nova*, Rio de Janeiro, 22, p.65-74, abr. 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1140>>. Acesso em: 10 fev. 2016

BRIEF, R. S.; SCALA, R. A. Occupational exposure limits for novel work schedules”. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 36:467 (1975).

CAVALCANTI, Paulina Maria Porto Silva. *Modelo de Gestão da Qualidade do Ar: Abordagem Preventiva e Corretiva*. 2010. 252 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/paulina_maria.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2016.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluentes**. 2013. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>>. Acesso em: 03 ago. 2016.

COMIN, Tatiane Tagino. **Monitoramento ambiental em uma escola da cidade de São Carlos-SP: ênfase em qualidade do ar interior**. 2012. 166f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.btdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4946>. Acesso em: 16 fev. 2016.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 03/90**: Controle da Poluição do ar – PRONAR, 1990.

DERISIO, José Carlos. Introdução ao controle da poluição ambiental. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 224 p.

Energética Indústria e Comércio Ltda. **Manual de Instruções. Impactador em Cascata de Andersen**.

FERREIRA, Ana Maria da Conceição. **Qualidade do ar interior em escolas e saúde das crianças**. 2014. 393 f. Tese (Doutorado) - Curso de Medicina, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/26262/1/Tese_Corrigidacapa.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2016.

GOOGLE, Google Earth. Versão 8.0.4.2346. 2016.

Lima, Bruno de Araújo. **Amostragem da emissão de material particulado em ambientes externos**. 2011. 73 f. TCC (Graduação) – Engenharia Industrial Madeireira, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, SP, 2011.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Ventilação industrial e controle da poluição. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 403 p.

MARAGNO, Natália Spricigo. **Avaliação da Emissão de Material Particulado na deterioração da qualidade do ar interior: estudo de caso: setor de preparação de massa de uma indústria de revestimentos**. 2014. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Cricúma, 2013. Disponível em: <repositorio.unesc.net/bitstream/1/2445/1/Natália_Spricigo_Maragno.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2016.

MIYAGUSKO, Marília Jukemura. **Avaliação da qualidade do ar em unidades de terapia intensiva e sua correlação com o ambiente externo e a saúde dos trabalhadores**. 2008. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Medicina, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5144/tde-19112008-172428/pt-br.php>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

MORAES, Alexandre Perri de. **Qualidade do ar interno com ênfase na concentração de aerodispersóides nos edifícios**. 2006. 159f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-17112006-134242/pt-br.php>>. Acesso em: 27 fev.2016.

MOTA, Daniel. **Caracterização físico-química do material particulado emitido por forno de pizzaria: estudo de caso da pizzaria Achiropizza**. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 36, n. 2, p.258-267, 2014. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/download/13173/pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

NASCIMENTO, Guilherme Caetano do. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos: biblioteca pública**. 2011. 152f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11052011-135603/pt-br.php>>. Acesso em: 28 fev.2016

QUADROS, Lis Campos de. **Legislação ambiental e a exposição laboral ao material particulado**.2014. 47 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3534/1/CT_CEEST_XXVIII_2014_20.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

RAMOS, Carla Alexandra Almeida Martins Cortês. **Qualidade do ar interior em ginásios: exposição a poluentes do ar interior durante a atividade física**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Integrada da Qualidade, Ambiente e Segurança, Instituto Superior de Educação e Ciências, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/9022/1/Tese_MsC_Carla_Ramos.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2016.

RECOMENDAÇÃO NORMATIVA ABRAVA RN 02 – 2003. Dispõe sobre Sistemas de Condicionamento de Ar e Ventilação para Conforto Qualidade do Ar Interior. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/40867930/Abrava-Ar-Exterior>>. Acesso em 23 out. 2016.

REKHADEVI P.; MAHBOOB M.; Rahman M, Grover P. Genetic damage in wood dust-exposed workers. Mutagenesis. 2009, 24(1),59-65.

RESOLUÇÃO ANVISA nº9 de 16/01/2003. Dispõe sobre Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.

Disponível em: < http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/re/09_03_1.pdf>. Acesso em 12 ago. 2015.

ROTIROTI, Arthur Sanches. **Monitoramento da qualidade ambiental no mercado municipal da cidade de São Carlos, SP: material particulado em suspensão, temperatura, umidade e ruído**. 2013. 115f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-03102013-114129/pt-br.php>>. Acesso em: 07 jan. 2016.

SANTANA, Eduardo et al. **Padrões de qualidade do ar : experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia**. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012. 79 p.

SANTOS, Raissa Aparecida Lopes. **Estudo da concentração de material particulado em ambientes internos e externos de bibliotecas**. 2012. 97f. TCC (Graduação) – Engenharia Industrial Madeireira, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, SP, 2012.

SOUSA, Diego de Sena. **Plano de iluminação externa da UNESP Campus Itapeva com base em LED e energia solar**. 2011. 53f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Madeireira, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Itapeva, SP, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/120991/000789740.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 27 set. 2016.

Thermo Fisher Scientific. DataRam 4 - User Manual. 2007. 68 p. Disponível em: <<https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/EPM-manual-DataRam4.pdf>>. Acesso em: 10 set 2016.

VIEIRA, Neise Ribeiro. **Poluição do Ar: indicadores ambientais**. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais Ltda, 2009. 220 p.

WHO, World Health Organization. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Global update 2005, Summary of risk assessment, Geneva, 2006. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf>. Acesso em: 24 out. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO Guidelines for Indoor Air Quality - Dampness and Mould**. 2009. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf> Acesso em: 04 ago. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Health and the Environment: Addressing the health impact of air pollution**. In: 2015 7f. Disponível em: <http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA68/A68_ACONF2Rev1-en.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2016.