

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

RAISSA APARECIDA LOPES SANTOS

**ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM AMBIENTES INTERNOS E EXTERNOS
DE BIBLIOTECAS**

Itapeva - SP
2012

RAISSA APARECIDA LOPES SANTOS

**ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM AMBIENTES INTERNOS E EXTERNOS
DE BIBLIOTECAS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Martins Costa

Itapeva - SP
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Raissa Aparecida Lopes.
S237e Estudo da concentração de material particulado em ambientes
internos e externos de bibliotecas/ Raissa Aparecida Lopes Santos. --
Itapeva, SP, 2012
97 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira)
- Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva,
2012
Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Martins Costa
Banca examinadora: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza;
Prof. Msc. Francisco de Almeida Filho
Inclui bibliografia

1. Ar - Poluição - Medição. 2. Partículas. 3. Bibliotecas I. Título. II.
Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 628.53

Ficha catalográfica elaborada pela biblioteca do Campus Experimental de Itapeva - UNESP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM
AMBIENTES INTERNOS E EXTERNOS DE BIBLIOTECAS**

RAISSA APARECIDA LOPES SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL
MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Martins Costa
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Msc. Francisco de Almeida Filho
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Dedico este trabalho à minha família, amigos e meu amor. Vocês são laços invisíveis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, guia de minhas escolhas, obrigada pela vida e pelas pessoas que colocou durante minha caminhada.

Aos meus pais Edson e Rosana, pela estrutura concebida, amor e união. Vocês representam a base de minha formação e meu agradecimento é eterno.

À minha irmã Nádia, companheira e minha amiga, pela paciência durante esses cinco anos e pelos momentos de descontração.

À minha tia Edi (em memória), pela simplicidade de suas palavras, pelos breves anos de convivência com uma pessoa adorável. Lembrar é reviver os momentos. Obrigada pelas risadas. Saudades eternas.

A todos os parentes, que indiretamente contribuíram em meu crescimento.

Ao meu amor Leandro, que sempre esteve do meu lado nos momentos mais difíceis, pelo carinho em meio a tantos livros, compreensão e apoio. Te amo.

Aos meus queridos amigos: Marcos Paulo, Camila Kleye, Camila Manzano, Ludele Carolina e Karina Duff, que fazem minha vida mais colorida. Amigos são um pedaço do céu.

À sexta turma, por cinco anos de convivência, estudos, risadas e festas, sem dúvida vocês representam o que há de melhor na graduação.

À minha orientadora, Maria Angélica, pela cobrança aos estudos, pelo apoio durante minha graduação. Trabalho exige dedicação. Obrigada pelo auxílio.

Ao Franco e Juscelino, que me ajudaram nos experimentos.

Ao professor Alexandre, que se dispôs a me ajudar em São Carlos.

À UFSCar e Secretária Municipal da Cultura e Turismo de Itapeva.

A todos os professores, funcionários e colegas da Unesp.

“Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas”
Antoine de Saint-Exupéry – O Pequeno Príncipe

RESUMO

A sociedade do século vinte e um e o ritmo de vida e trabalho aos qual estamos submetidos nos obriga a passar a maior parte do dia em ambientes fechados, seja em nossas residências, instituições de ensino, hospitais, aeroportos, dentre outros. O estudo da qualidade do ar em ambientes internos (QAI) é de suma importância para se medir e controlar o bem estar e conforto ambiental de seus ocupantes. Um dos parâmetros essenciais de análise da QAI é avaliar a concentração de material particulado dispersos no ar com atenção às partículas finas (abaixo de 2,5 μm de diâmetro), essas apresentam maior incidência de riscos à saúde humana, uma vez que podem se alojar nos pulmões, penetrar nos poros da pele, dentre outros efeitos prejudiciais ao homem. Este trabalho objetivou avaliar a qualidade do ar na biblioteca pública municipal Prof^a Josina Vasques Ferrari e na biblioteca da Unesp, ambas em Itapeva; além da biblioteca comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) entre os meses de março e maio de 2012. Foram coletados dados para verificar se a concentração de material particulado naqueles ambientes oferecia riscos aos usuários. O equipamento utilizado para amostragem de partículas em tempo real foi o DataRam 4 (Modelo DR 4000). As médias obtidas daquelas concentrações nos ambientes internos e externos apresentaram valores dentro do limite proposto pela OMS (Organização Mundial de Saúde), fixado em 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com exceção do quinto piso da biblioteca comunitária da UFSCar, onde a concentração média de partículas ficou em 25,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Palavras-chave: Concentração de Partículas. Qualidade do Ar Interno. Biblioteca.

ABSTRACT

Our twenty-first century society and the rhythm of life and work we have to face in our daily routine compel us to spend most of our lifetime in closed environments, in our houses, educational institutions, hospitals, airports, amongst as many others. The study of the air quality in internal environments (IAQ) is very important for monitoring people's health effects and their environmental comfort in these locations. One essential parameter to analyze this measure is to evaluate the concentration of dispersed particulates in the air, specially focusing on those thinner particles (below the diameter of 2,5 μm), they can pose serious risks for human being because they can remain in the lungs, penetrate through the pores of our skin, amongst other harmful effects on human's health. In this work the air quality inside the public library Prof^a Josina Vasques Ferrari and at Unesp public state library was evaluated, both located in Itapeva, as well as a third one, inside the Communitarian Library of the Federal University in Carlos (UFSCar) from march to may in 2012. In those environments it was analyzed if the concentration of particulates pose any real treat to the users. The equipment used for particle sampling in real time was DataRam 4 (Model DR 4000). The results given for those concentrations of particulates in both internal and external environments revealed figures within the safe standard established by the WHO (World Health Organization), from 25 to $\mu\text{g}/\text{m}^3$, the only exception occurred on the fifth floor of the UFSCar library, where the average for concentration stayed at 25,30 of $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Keywords: Concentration of Particulates. Internal Air Quality. Library.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Partículas grossa, fina e ultrafina.....	31
FIGURA 2 – Condições para amostragem não-representativa e representativa para determinação da concentração de partículas em um escoamento	32
FIGURA 3 – Penetração do material particulado no sistema respiratório do ser humano	33
FIGURA 4 – Representação esquemática da absorção de compostos tóxicos contidas nas partículas depositadas nos alvéolos	33
FIGURA 5 – Material poluente (partículas) acumulado no pulmão humano	34
FIGURA 6 – Principais fontes de reclamação na qualidade do ar interno	36
FIGURA 7 – Fatores que afetam a qualidade do ar interno	37
FIGURA 8 – Limpeza dos ambientes	41
FIGURA 9 – Uso de luvas no manuseio de documentos	42
FIGURA 10 – Montagem do equipamento para coleta do material particulado, com ênfase na unidade coletora	48
FIGURA 11 – Contador de material particulado AEROCET 531, da marca Met One	49
FIGURA 12 – Amostrador de Pequenos Volumes	50
FIGURA 13 – DataRam 4 Modelo DR 4000	52
FIGURA 14 – Configuração do Sistema Sensível Ótico	53
FIGURA 15 – Acessórios DataRam 4. (a) Seletor de partículas, (b) Entrada de Amostragem Omnidirecional	54
FIGURA 16 – Vista superior área de localização da Estação Cultura (Biblioteca Municipal de Itapeva	55
FIGURA 17 – Vista da biblioteca municipal de Itapeva	55
FIGURA 18 – Vista da biblioteca comunitária de São Carlos.....	57
FIGURA 19 – Vista da biblioteca do campus Unesp em Itapeva	57
FIGURA 20 – Concentração de material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca municipal de Itapeva	59
FIGURA 21 – Variação diametral do material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca municipal de Itapeva	61

FIGURA 22 – Relação entre concentração de particulados emitidos e seu diâmetro correspondente	61
FIGURA 23 – Concentração de material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca municipal de Itapeva	62
FIGURA 24 – Variação diametral do material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca municipal de Itapeva	63
FIGURA 25 – Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente externo e seu diâmetro correspondente	64
FIGURA 26 – Concentração de material particulado obtido no piso 1 da biblioteca comunitária da UFSCar	65
FIGURA 27 – Variação diametral do material particulado obtido no piso 1 da biblioteca comunitária da UFSCar	66
FIGURA 28 – Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 1 e seu diâmetro correspondente	67
FIGURA 29 – Concentração de material particulado obtido no piso 2 da biblioteca comunitária da UFSCar	68
FIGURA 30 – Variação diametral do material particulado obtido no piso 2 da biblioteca comunitária da UFSCar	69
FIGURA 31 – Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 2 e seu diâmetro correspondente	69
FIGURA 32 – Concentração de material particulado obtido no piso 3 da biblioteca comunitária da UFSCar	70
FIGURA 33 – Variação diametral do material particulado obtido no piso 3 da biblioteca comunitária da UFSCar	71
FIGURA 34 – Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 3 e seu diâmetro correspondente	72
FIGURA 35 – Concentração de material particulado obtido no piso 4 da biblioteca comunitária da UFSCar	73
FIGURA 36 – Variação diametral do material particulado obtido no piso 4 da biblioteca comunitária da UFSCar	73
FIGURA 37 – Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 4 e seu diâmetro correspondente	74
FIGURA 38 – Concentração de material particulado obtido no piso 5 da biblioteca comunitária da UFSCar	75

FIGURA 39 – Variação diametral do material particulado obtido no piso 5 da biblioteca comunitária da UFSCar.....	76
FIGURA 40 – Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 5 e seu diâmetro correspondente	77
FIGURA 41 – Concentração de material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca comunitária da UFSCar.....	78
FIGURA 42 – Variação diametral do material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca comunitária da UFSCar.....	78
FIGURA 43 – Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente externo e seu diâmetro correspondente	79
FIGURA 44 – Comparação entre as concentrações de particulados emitidos para cada ambiente amostrado da Biblioteca Comunitária da UFSCar.....	80
FIGURA 45 – Comparação entre as médias diametrais de particulados emitidos para cada ambiente amostrado da Biblioteca Comunitária da UFSCar.....	80
FIGURA 46 – Concentração de material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca da Unesp em Itapeva	82
FIGURA 47 – Variação diametral do material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca da Unesp em Itapeva	83
FIGURA 48 – Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente interno da biblioteca Unesp e seu diâmetro correspondente	84
FIGURA 49 – Concentração de material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca da Unesp em Itapeva	85
FIGURA 50 – Variação diametral do material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca da Unesp em Itapeva	85
FIGURA 51 – Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente externo da biblioteca Unesp e seu diâmetro correspondente	86
FIGURA 52 – Comparação da concentração de material particulado obtido no ambiente interno das diferentes bibliotecas amostradas.....	87
FIGURA 53 – Comparação da concentração de material particulado obtido no ambiente externo das diferentes bibliotecas amostradas.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Instrumentos legais sobre emissão atmosférica	20
Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar para material particulado emitido por fontes fixas segundo Resolução CONAMA nº 382 de 26/12/06.....	21
Tabela 3 - Padrões de qualidade do ar propostos pelo grupo de trabalho instituído pela Resolução Conjunta SES/SMA - 4/2009	22
Tabela 4 - Valores de referência para partículas em suspensão segundo a OMS....	22
Tabela 5 - Padrões nacionais de qualidade do ar para partículas (Resolução CONAMA Nº 03 de 28/06/90).....	23
Tabela 6 - Relação entre o número mínimo de amostras com base na área construída.....	24
Tabela 7 –Tabela Comparativa de Padrões Referencias de Qualidade do Ar segundo ABRAVA RN 02 de 2003 e Resolução ANVISA nº9, de 16 de janeiro de 2003	24
Tabela 8 - Recomendações internacionais com padrões referenciais de qualidade do ar interior, para particulados PM _{2,5} e PM ₁₀	25
Tabela 9 - Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera	26
Tabela 10 - Produtos derivados da madeira utilizados como materiais de construção e algumas das suas aplicações mais comuns.....	28
Tabela 11 - Comparação entre diferentes diâmetros de partículas.....	30
Tabela 12 - Principais diferenças da fração PM _{2,5} e PM _{2,5-10}	30
Tabela 13 - Índice geral entre relação da qualidade do ar e efeitos à saúde humana	35
Tabela 14 - Poluentes do ar de interiores e suas fontes de emissão	37
Tabela 15 - Tipos de problemas identificados em edifícios, investigações realizadas pelo Instituto Nacional de Segurança Ocupacional e Saúde (NIOSH), USA.....	38
Tabela 16 - Concentração de partículas ultrafinas em áreas urbanas	39
Tabela 17- Valores de PM ₁₀ e PM _{2,5} obtidos em três diferentes ambientes.....	43
Tabela 18 - Material particulado coletado na indústria Port Talbot e na cidade de Cardiff.....	44
Tabela 19 - Valores médios de concentração de PM ₁₀ em ambientes internos e externos das 60 casas de Hong Kong.....	45

Tabela 20 - Média das concentrações de material particulado em ambientes internos e externos de quatro escolas indianas	46
Tabela 21 - Valores mínimo, máximo e médio para concentrações de PM ₁₀ e PM _{2,5} em ambientes internos e externos de escolas de Atenas	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

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

AFEEVAS – Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APV – Amostrador de Pequenos Volumes

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*

CEPRAM – Conselho Estadual de Proteção Ambiental

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

COV – Composto Orgânico Volátil

EPA – *Environmental Protection Agency*

HC – Hidrocarbonetos

HKIAQS – *Hong Kong Indoor Air Quality Society*

HNO₃ – Ácido nítrico

(HSO₄)⁻ – Bissulfato

MDF – *Medium Density Fiberboard*

MGA – Média Geométrica Anual

MMA – Média Aritmética Anual

MP – Material Particulado

MP_{1,0} – Fração do material particulado total em suspensão com partículas de tamanho menor que 1 µm

MP_{2,5} – Fração do material particulado total em suspensão com partículas de tamanho 2,5 µm

MP₁₀ – Fração do material particulado total em suspensão com partículas de tamanho 10 µm

N₂ – Nitrogênio

N_2O – Óxido Nitroso

NH_3 – Amônia

NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*

NO – Óxido Nítrico

NO_2 – Dióxido de Nitrogênio

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

O_3 - Ozônio

OMS – Organização Mundial de Saúde

PM – *Particulate Matter*

$PM_{2,5}$ – *Particulate Matter of size 2,5 μm*

PM_{10} – *Particulate Matter of size 10 μm*

PTS – Partículas Totais em Suspensão

PVC – Policloreto de Vinila

QAI – Qualidade do Ar Interno

SED – Síndrome do Edifício Doente

SFU – *Stacked Filter Unit*

SO_2 – Dióxido de enxofre

SO_4^{2-} – Sulfato

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

UNESP – Universidade Estadual Paulista

USP – Universidade de São Paulo

WHO – *World Health Organization*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 Padrões de Qualidade do Ar	20
3.1.1 Legislação Nacional para Qualidade do Ar em Ambientes Internos.....	23
3.1.2 Legislação Internacional para Qualidade do Ar em Ambientes Internos	25
3.2 Principais Poluentes Atmosféricos	26
3.2.1 Compostos Orgânicos Voláteis (COV's).....	27
3.2.2 Fumaça de cigarro.....	28
3.2.3 Fungos	28
3.3 Material Particulado.....	28
3.3.1 Medida de concentração de material particulado	31
3.4 Poluição do Ar e Saúde.....	32
3.5 Qualidade do Ar em Interiores.....	35
3.6 Bibliotecas	39
3.7 Outros Estudos de Caso	42
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
4.1 Equipamentos	52
4.1.1 DataRam4 – Modelo DR-4000	52
4.2 Amostragens	54
4.2.1 Biblioteca Pública Municipal Prof ^a Josina Vasques Ferrari	55
4.2.2 Biblioteca Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)	56
4.2.3 Biblioteca do Campus Unesp em Itapeva.....	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1 Biblioteca Pública Municipal Prof ^a Josina Vasques Ferrari	59
5.1.1 Ambiente Interno	59
5.1.2 Ambiente Externo	62
5.2 Biblioteca Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).....	64
5.2.1 Piso 1	65

5.2.2 Piso 2	67
5.2.3 Piso 3	70
5.2.4 Piso 4	72
5.2.5 Piso 5	75
5.2.6 Ambiente Externo	77
5.3 Biblioteca do Campus Unesp em Itapeva.....	81
5.3.1 Ambiente Interno	81
5.3.2 Ambiente externo	84
5.4 Comparação entre as bibliotecas	87
5.5 Propostas de melhorias.....	89
6. CONCLUSÃO.....	90
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera a qual envolve nosso planeta é composta por cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera; é na troposfera em que nós seres vivos respiramos. Para a compreensão da poluição do ar é necessária análises dirigidas aos poluentes da troposfera, como o ozônio, material particulado e demais substâncias, juntamente com as condições meteorológicas e outros parâmetros físicos. Encontramos na literatura estudos sobre particulados ao qual ocasionam efeitos na saúde humana, ecossistemas, agricultura, entre outros desconfortos físicos e ambientais.

O ar que inalamos contém partículas de diversos tamanhos e composições, incluindo poeiras minerais, metais, sais, nitratos, compostos orgânicos, carbono elementar, bem como poluentes orgânicos e inorgânicos; a abundância destes componentes atmosféricos são espacialmente variáveis, alguns componentes são emitidos diretamente para a atmosfera por fontes naturais enquanto outros são resultados de nucleação heterogênea e condensação de precursores gasosos (DONGARRÀ *et al*, 2010). Atualmente estudos sobre qualidade do ar estão recebendo maior atenção mundial, pois as partículas aerossóis PM_{2,5}, ou seja, material particulado de tamanho 2,5 µm possuem maior potencial de efeito adverso sobre a saúde dos seres humanos, especialmente sobre a população que vive em áreas urbanas afetadas pela poluição veicular e industrial.

Na última década, o conhecimento da composição química do material particulado obteve crescente importância na comunidade científica pelo fato de maiores estudos sobre como este poluente causa efeitos evidentes tanto na saúde bem como mudanças climáticas; além disso, o estudo do MP pode fornecer informações valiosas e essenciais sobre as fontes e processos que afetam a concentração do MP na atmosfera para que medidas eficazes sejam tomadas como o objetivo da redução da emissão destes gases para melhoramento da qualidade do ar (PERRINO *et al*, 2009).

Uma recente linha de pesquisa neste ramo trata sobre o tema qualidade do ar interno (QAI), uma vez que uma pessoa em média gasta mais de 80% do seu dia em um ambiente interno seja em casa ou no local de trabalho, um edifício público, um veículo, uma biblioteca (SARAGA *et al*, 2011). Na literatura, encontramos estudos relacionados à qualidade do ar interior em casas, museus,

teatros, salas de aula, escritórios, edifícios e bibliotecas a qual é o tema central deste trabalho.

O ar em ambientes internos apresenta uma mistura complexa de bioaerossóis (bactérias, fungos) e partículas (pó, fumaça de tabaco, partículas provenientes de cozimento), altas concentrações de partículas em um ambiente fechado representa um risco ambiental, um dos problemas mais evidentes causados na população urbana pela inalação constante de partículas finas são problemas no sistema circulatório, respiratório e alergias em geral.

Em bibliotecas é de suma importância a boa qualidade do ar interno, devido principalmente à conservação do acervo (obras de arte, livros, documentos especiais) além do conforto e segurança dos usuários (BRANDL, 2011). As obras armazenadas em uma biblioteca estão expostas e ameaçadas por um número de diferentes fatores físicos e biológicos, o material particulado é particularmente prejudicial para documentos de papel, pois pode alterar sua composição química, ocasionando lentamente a degradação deste material.

Um fator primordial para análise da qualidade do ar interno é a presença de pessoas no recinto; atividades como espirro, fala, tosse e circular pelo ambiente podem gerar material particulado. Outros fatores fundamentais compreendem a existência de flores, plantas, produtos alimentícios, animais, poeira doméstica, tecidos, tapetes, móveis de madeira, fotocopiadoras, computadores; variáveis correspondentes ao clima do ambiente, estação do ano, temperatura, localização geográfica do prédio e características do ambiente externo também são consideradas no estudo da QAI.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), aproximadamente 2 milhões de pessoas morrem anualmente como consequência da poluição atmosférica e, um dos principais problemas de saúde pública e ambiental é correspondente a poluição do ar interior (NASCIMENTO, 2008).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi realizar a amostragem de material particulado em ambientes externos e internos de bibliotecas, com o propósito de verificar a qualidade do ar nos ambientes amostrados. Os dados foram analisados de acordo com a concentração e diâmetro das partículas.

2.2 Objetivos Específicos

- Amostrar a Biblioteca Pública Municipal Prof^a Josina Vasques Ferrari, em Itapeva;
- Amostrar a Biblioteca Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar);
- Amostrar a Biblioteca do campus Unesp, em Itapeva.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Padrões de Qualidade do Ar

Segundo Lisboa e Quadros (2010) estudos sobre a qualidade do ar obtiveram maior importância devido ao fato ocorrido em Londres no ano de 1952, mais conhecido como o episódio de “London Fog”. O nevoeiro ocorrido foi considerado na época como o maior desastre ambiental atmosférico, a partir deste fato iniciou-se a prática de medições diárias de fumaça e dióxido de enxofre em ambientes (WILKINS, 2006).

De acordo com a Resolução CONAMA N.º 003 de 28 de junho de 1990 o padrão de qualidade do ar é definido como:

Art. 1º - São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, divide os padrões de qualidade do ar em primários e secundários. Padrão primário pode ser definido como o nível máximo de concentração de determinado poluente na atmosfera. Padrão Secundário representa o nível de poluentes concentrados na atmosfera a qual acarretará o mínimo dano à saúde e ao ecossistema.

A tabela 1 mostra o histórico dos padrões de qualidade do ar de acordo com a legislação nacional.

Tabela 1 - Instrumentos legais sobre emissão atmosférica

Legislação	Data	Informações
CEPRAM N.º 30	04/12/79	Estabelece padrão regional da qualidade do ar para SO ₂ e padrões regionais de emissão para a operação de produção e/ou recuperação de H ₂ SO ₄ .
CEPRAM N.º 170	28/07/82	Reajusta os prazos para implantação do sistema de controle de material particulado dos seis fornos abertos da SIBRA.
CEPRAM N.º 218	23/02/83	Dispõe sobre a implantação de medidas visando a diminuição das emissões de SO ₂ da Tibrás.
Decreto N.º 33536	06/08/86	Proibição, Instalação e funcionamento de incineradores residenciais e comerciais.
CONAMA N.º 05	15/06/89	Instituir o PRONAR, como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do País de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica.

Portaria N^o 348 - IBAMA	14/03/90	Estabelece Padrões de Qualidade do Ar que será oportunamente submetida ao CONAMA para transformar-se em Resolução.
CONAMA N^o 03	28/06/90	Estabelece Padrões de Qualidade do Ar, previstos no PRONAR. Define como padrão de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos que ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos ao meio ambiente.
CONAMA N^o 08	06/12/90	Estabelece limites máximos de emissão de poluentes do ar, previstos no PRONAR.
Lei N^o 6343	04/12/91	Regulamenta a proibição da fabricação e comercialização de produtos que emanem CFC's para o meio ambiente.
CEPRAM N^o 02	25/10/96	Adota a escala de Rilgelmann como padrão para os efeitos de fiscalização e avaliação da poluição do ar ocasionada pela fumaça e fixa padrões de qualidade do ar.

Fonte: Dozena (2000)

A última Resolução estabelecida pelo CONAMA se tratando de qualidade do ar é a Resolução n^o 382 de 26/12/2006 a qual estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas (tabela 2).

Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar para material particulado emitido por fontes fixas segundo Resolução CONAMA n^o 382 de 26/12/06

Fonte fixa de emissão	Particulado (mg.(Nm⁻³))
<i>Geração de calor a partir da combustão externa de óleo combustível</i>	
Menor 10 MW	300
Entre 10 e 70 MW	250
Maior que 70 MW	100
<i>Geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana de açúcar</i>	
Menor 10 MW	280
Entre 10 e 75 MW	230
Maior que 75 MW	200
<i>Geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira</i>	
Menor 10 MW	730
Entre 10 e 30 MW	520
Entre 30 e 70 MW	260
Maior que 70 MW	130
<i>Processos de fabricação de celulose</i>	
Caldeira de recuperação e forno de cal	100
<i>Indústria de cimento</i>	
Fornos, resfriadores, ensacadeiras e moinhos	50

Fonte: Dias (2008)

Recentemente, em 25 de maio de 2011 o órgão CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente, aprovou um novo relatório para padrões de qualidade do ar, até então regulamentada por legislações ambientais do Estado e da União,

respectivamente, de 1976 e de 1990, neste documento fica estabelecido que os dados gerados na avaliação de poluentes provenientes de estações de monitoramento deverão considerar as características da região em que estão estabelecidos. Juntamente seguindo as normas da CETESB, essas estações deverão coletar dados com uma escala de representatividade espacial de uma ou mais categorias: microescala, média-escala, bairro e urbana.

Os novos padrões aprovados pelo CONSEMA (2011) serão implantados gradualmente em três etapas. Na primeira etapa fica estabelecido que em um período de 24 horas a quantidade tolerável de poeira inalada é de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a segunda etapa (prevista após 3 anos da implantação da primeira etapa) passa a ser 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e por fim na terceira e última etapa (sem prazo específico de implantação), a quantidade tolerável será de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

AFEEVAS (2011) define as etapas de aplicação impostas pelo CONSEMA em M1, M2 e M3 onde cada meta objetiva o alcance dos novos padrões recomendados pela OMS (tabela 4). Os novos padrões propostos são expressos na tabela 3.

Tabela 3 - Padrões de qualidade do ar propostos pelo grupo de trabalho instituído pela Resolução Conjunta SES/SMA - 4/2009

Padrões	CO (ppm)		SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		FMC* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PTS* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Pb* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	8h	24h	MAA	24h	MAA	24h	MAA	24h	MAA	24h	MAA	24h	MGA	MAA	1h	MAA	8h
M1	9	60	40	120	40	60	20	120	40	240	80	0,5	260	60	140		
M2	9	40	30	100	35	50	17	100	35	240	80	0,5	240	50	130		
M3	9	30	20	75	30	37	15	75	30	240	80	0,5	220	45	120		
Padrão Final	9	20	-	50	20	25	10	50	20	240	80	0,5	200	40	100		

MMA – Média Aritmética Anual

MGA – Média Geométrica Anual

* medição a critério da Agência Ambiental.

Fonte: AFEEVAS (2011)

Tabela 4 - Valores de referência para partículas em suspensão segundo a OMS

PADRÕES OMS	Média Anual	Média de 24 horas
PM _{2,5}	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM ₁₀	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fonte: OMS (2012)

Os padrões atuais de limites de concentração de poluentes na atmosfera são expressos na tabela 5, sendo esses regulamentados pela CETESB. Segundo a Resolução CONAMA N.º 003 de 28 de junho de 1990 os padrões nacionais de qualidade do ar e os respectivos equipamentos de medição são assim definidos:

Tabela 5 - Padrões nacionais de qualidade do ar para partículas (Resolução CONAMA N° 03 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método de Medição
partículas totais em suspensão	24h	240	150	amostrador de grandes volumes
	MGA	80	60	
partículas inaláveis	24h	150	150	separação inercial / filtração
	MAA	50	50	

Fonte: CETESB (2010)

3.1.1 Legislação Nacional para Qualidade do Ar em Ambientes Internos

As leis existentes no Brasil em que tratam sobre interiores são regulamentadas pelos órgãos: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado e Aquecimento (ABRAVA) e pelo Ministério da Saúde.

A Resolução ANVISA n°176 de 24 de outubro de 2000 trata sobre orientações técnicas sobre “Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo”. Já a Resolução ANVISA n°9, de 16 de janeiro de 2003 foi escrita a partir da necessidade de revisão da resolução n°176, a qual estabelece que, para material particulado, as principais fontes de emissão em ambientes interiores são poeiras e fibras e as medidas corretivas para minimizar seu efeito é descrito da seguinte forma:

Manter filtragem de acordo com a NBR-6402 ABNT; evitar isolamento termo acústico que possa emitir fibras minerais, orgânicas ou sintéticas para o ambiente climatizado; reduzir as fontes internas e externas; higienizar as superfícies fixas e mobiliários sem o uso de vassouras, escovas ou espanadores; selecionar os materiais de construção e acabamento com menor porosidade; adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores (vide biológicos); restringir o tabagismo em áreas fechadas.

Esta resolução estabelece padrões de amostragem para 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. Segundo esta Resolução, definimos o número de amostras do ar interior com base na área construída (tabela 6).

Tabela 6 - Relação entre o número mínimo de amostras com base na área construída

Área construída (m ²)	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
10000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

Fonte: Resolução ANVISA nº176 de 24 de outubro de 2000

A Recomendação Normativa existente pela ABRAVA RN 02 de 2003 trata sobre “Sistemas de condicionamento de ar e ventilação para conforto Qualidade do ar interior”, os padrões referenciais de qualidade do ar adotados pela ABRAVA e pela Resolução ANVISA nº9 são listados na tabela 7.

Tabela 7 –Tabela Comparativa de Padrões Referencias de Qualidade do Ar segundo ABRAVA RN 02 de 2003 e Resolução ANVISA nº9, de 16 de janeiro de 2003

Poluentes	Limite de emissão - ABRAVA RN 02 de 2003	Limite de emissão - Resolução ANVISA nº9
Contaminantes microbiológicos (fungos)	<750 ufc/m ³	<750 ufc/m ³
Dióxido de Carbono (CO ₂)	<3500 ppm	≤1000 ppm
Partículas totais em suspensão	<60 µg/m ³	≤ 80 µg/m ³
Formaldeído	<120 µg/m ³	-

Fonte: ABRAVA RN 02 de 2003 e Resolução ANVISA nº09 de 16 de janeiro de 2003

A portaria nº 3.523/GM, de 28 de agosto de 1998 regulamentada pelo Ministério da Saúde traz informações referentes a normas de manutenção, controle, operação e limpeza para sistemas de climatização. Algumas medidas segundo a portaria são descritas a seguir:

- Promover uma correta renovação do ar interior em ambientes climatizados, mínimo de 27 m³/h/pessoa;
- Descartar rejeitos sólidos após limpeza dos sistemas de climatização através de sacos resistentes e adequados para este fim com o objetivo de minimizar o escape de partículas inaláveis;
- Utilizar produtos biodegradáveis para limpeza dos sistemas de climatização.

Analisando a legislação nacional verificamos que não existem normas e leis para padrões referenciais de material particulado PM_{2,5}.

3.1.2 Legislação Internacional para Qualidade do Ar em Ambientes Internos

Existem pelo mundo algumas leis e recomendações para padrões referenciais de qualidade do ar interior para partículas PM_{2,5} e PM₁₀. Na tabela 8 temos esses valores com base em órgãos como a *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), *Environmental Protection Agency* (EPA), *World Health Organization* (WHO), *Hong Kong Indoor Air Quality Society* (HKIAQS), e leis de países como Noruega e Canadá.

Tabela 8 - Recomendações internacionais com padrões referenciais de qualidade do ar interior, para particulados PM_{2,5} e PM₁₀

Recomendações	Padrões recomendados da concentração média PM _{2,5} (µg/m ³)	Padrões recomendados da concentração média PM ₁₀ (µg/m ³)
ASHRAE	-	150, em 24 h
EPA	65, em 24 h	150, em 24 h
WHO	70, em 24 h	120, em 24 h
HKIAQS - Hong Kong	-	180, em 8 h
Noruega	40, em 8 h	90, em 8 h
Canadá	100, em 1 h	-

Fonte: Ito (2007)

O órgão ASHRAE regulamentou a primeira norma (norma 62-1973) sobre ventilação em ambientes internos no ano de 1973 a qual tratava sobre o tema “Padrões para ventilação natural e mecânica”, em 1975 houve uma complementação especificando o uso e as taxas de trocas de ar. No ano de 1981 a ASHRAE adicionou a norma 62, especificações sobre as taxas de fluxos externos de ar para área de fumantes. No ano de 1989 a norma consolidou os procedimentos corretos para taxas de ventilação e procedimentos de qualidade do ar (CARMO *et al*, 1999).

3.2 Principais Poluentes Atmosféricos

De acordo com a CETESB os poluentes atmosféricos são classificados em duas categorias: material particulado e gases, o material particulado será tratado na sessão seguinte.

A tabela a seguir (tabela 9), retirada do relatório da CETESB – Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2010, nos fornece o resumo dos principais poluentes atmosféricos bem como suas características, fontes de origem e efeitos gerados ao meio ambiente.

Tabela 9 - Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis (MP₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e com- postos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.

Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores	Por tratar-se de um produto sob a forma gás, o produto não oferece riscos a seres vivos tanto aquáticos, quanto terrestres.
Ozônio (O₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB (2010)

Além desses poluentes, em ambientes internos podemos encontrar outros contaminantes específicos para locais fechados. Conforme a Recomendação Normativa ABRAVA RN 02 de 2003 os poluentes internos se classificam da seguinte forma:

- Poluentes decorrentes da presença de pessoas: CO₂, vapor de água, Compostos Orgânicos Voláteis (COV's), aerossóis biológicos, material particulado, escamas de pele, pelos, cabelos, microorganismos provenientes de espirros ou respiração.
- Poluentes de origem do próprio ambiente: poeira, mofo, pó de traças, dejetos de ácaros, COV's, formaldeído, ozônio, fumaça de cigarro.
- Poluentes de origem externa: fuligem, fumaça de chaminés, poeira, gases de combustão, pólen de plantas, esporos de fungos e bactérias.

Dentre esses, os de ocorrência mais frequentes são os compostos orgânicos voláteis (COV's), fumaça de cigarro e fungos, descritos abaixo.

3.2.1 Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

Os principais COV's encontrados em ambientes internos são: tolueno, xileno, benzeno, acetaldeído, etilbenzeno e formaldeído (SCHIRMER *et al*, 2008), estes compostos tem como fontes: tintas e vernizes, papel de parede, mobiliário, fotocopiadoras, produtos de limpeza e higiene pessoal (SANTOS, 2008). Vários autores consideram o formaldeído como sendo o COV mais encontrado em ambientes internos, pois tem como fonte produtos de madeira que apresentam resina uréia- formaldeído, na tabela 10 encontra-se alguns derivados de madeira

que são amplamente utilizados em interiores. O COV possui origem através de emissões metabólicas de microorganismos e processos de combustão.

Os COV's podem causar alguns sintomas como tosse, lacrimejamento e sonolência (ARBEX, 2001).

Tabela 10 - Produtos derivados da madeira utilizados como materiais de construção e algumas das suas aplicações mais comuns

Produtos derivados de madeira	Aplicações
Aglomerados de partículas de madeira	Base de soalhos
MDF e aglomerados de alta densidade	Armários e prateleiras
Aglomerados de fibras de madeira	Revestimento de paredes, Estantes
Aglomerados de fibras de madeira	Revestimento e tampos de móveis

Fonte: Santos (2008)

3.2.2 Fumaça de cigarro

A queima do cigarro libera milhares de constituintes químicos, dos quais o principal poluente liberado é a nicotina; quando inalada a nicotina causa estresse nos sistemas nervoso e circulatório (LISBOA e QUADROS, 2010).

3.2.3 Fungos

Conforme Levy (2008), para problemas de qualidade do ar interior a principal entidade de fungo presente nesses ambientes são os bolores, nos ambientes fechados quando há umidade, nutrientes e condições ambientais favoráveis à proliferação de fungos estes se reproduzem de tal forma sendo possível reconhecer a aglomeração desses fungos a olho nu (mofo). A contaminação microbiológica presente em ambientes internos pode ter como causas: falha de projeto da edificação, problemas no sistema de ventilação e/ou incorreta manutenção de ar condicionado, os quais permitem a proliferação de fungos e bactérias (CARMO *et al*, 1999).

3.3 Material Particulado

Quando nos referimos a partículas estamos tratando de material sólido de diâmetros variados, sendo que quanto menor for o diâmetro da partícula maior é o cuidado que devemos ter em relação à devida coleta deste material para evitar riscos ao sistema respiratório humano em geral e ao meio ambiente.

Segundo Carvalho e Lacava (2003), os danos causados pelas partículas são definidos conforme o trecho abaixo:

Elas atacam os pulmões, aumentam as taxas de reação na atmosfera, reduzem a visibilidade e alteram os níveis de radiação solar que atinge o solo..., as partículas alteram a temperatura do solo e influenciam o crescimento das plantas.

Para Arbex *et al* (2004) o material particulado proveniente da combustão de biomassa tanto para ambiente interno quanto externo é o poluente de maior toxicidade existente, é constituído por 94% de partículas finas e ultrafinas, partículas essas que penetram nas cavidades mais internas do sistema respiratório.

Queiroz *et al* (2007) define material particulado como sendo uma mistura de partículas sólidas e gotas líquidas presentes na atmosfera. Essas partículas podem ser visíveis a olho nu (fumaça e fuligem), ou tão pequenas sendo somente visíveis ao microscópio, podem ser de origem natural ou artificial.

De acordo com Costa (2011), as fontes se classificam em antropogênicas ou artificiais (fixas e móveis) e naturais.

- Fontes naturais: oceânica, decomposição biológica, praias e dunas, queimadas naturais, erosão eólica do solo e superfícies.
- Fontes antropogênicas: Processos industriais; caldeiras, fornos e aquecedores; construção civil; queimada ao ar livre; exploração, beneficiamento, movimentação e estocagem de materiais fragmentados, aviões, navios, caminhões, ônibus, automóveis, motocicletas.

O diâmetro da partícula varia entre 0,002 μm e 100 μm , acima de 100 μm as partículas tendem a se precipitarem, exemplo: gotas de chuva. As partículas que merecem maior estudo são as de diâmetro entre 0,002 μm a 10 μm (ARBEX, 2001).

Conpet (2006) classifica o diâmetro aerodinâmico das partículas da seguinte forma:

- Ultrafino: diâmetros de 0,1 μm ;
- Finos: diâmetro de 2,5 μm – $\text{PM}_{2,5}$
- Grossos: diâmetro de 10 μm – PM_{10}

O PM_{10} é definido como Material Particulado Inalável e $\text{PM}_{2,5}$ como Material Particulado Respirável. Na tabela 11 encontramos a comparação de diâmetros de diferentes partículas de poeira presente em ambientes.

Tabela 11 - Comparação entre diferentes diâmetros de partículas

Origem	Diâmetro de partícula (μm)
Poeira	<63
Pólen	10 - 100
Névoa cimento	3 -100
Esporos de fungos	1 - 5
Bactérias	0,2 - 15
Fumo em geral	0,01 - 1
Fumaça de tabaco	0,01 - 0,5

Fonte: Bolourchi (2003)

Na tabela 12 são apresentadas as principais diferenças entre particulados na faixa $\text{PM}_{2,5-10}$ e $\text{PM}_{2,5}$.

Tabela 12 - Principais diferenças da fração $\text{PM}_{2,5}$ e $\text{PM}_{2,5-10}$

Características	$\text{PM}_{2,5}$	$\text{PM}_{2,5-10}$
Diâmetro aerodinâmico	< 2,5 μm	2,5 a 10 μm
Formação	Reações químicas ou vaporização. Nucleação, condensação de núcleos, coagulação. Evaporação de gotículas nas quais os gases dissolvem e reagem.	Quebras mecânicas (moagem, esmagamento, abrasão de superfícies, etc.). Suspensão de poeira e "spray" marinho
Composição	Sulfatos, nitratos, amônia, carbono, compostos orgânicos (ex. aromáticos) e metais (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn etc.)	Poeira de ressuspensão do solo, cinzas de combustão. Óxidos de elementos da crosta terrestre (Si, Al, Ti, Fe) CaCO_3 , NaCl, pólen, esporos fúngicos, fragmentos vegetais e animais
Solubilidade	Muitos solúveis, higroscópicos	Pouco solúveis e não higroscópicos
Fontes	Combustão de carvão, óleos combustíveis automotivos, transformações atmosféricas de NO_x , SO_x e componentes orgânicos. Processos de alta temperatura	Ressuspensão de poeira industrial e do solo. Suspensão por atividades ligadas ao solo (mineração, agricultura, trânsito em locais sem pavimentação). Construção e demolição, fontes biológicas, combustão incompleta de carvão e óleos. "spray marinho"
1/2 vida na atmosfera	Dias, até semanas	Minutos a horas
Distância de dispersão	Centenas a milhares de Km	Menos de um a dez Km

Fonte: Ito (2007)

A figura 1 abaixo simboliza de forma esquemática os variados diâmetros de materiais particulados citados neste trabalho.

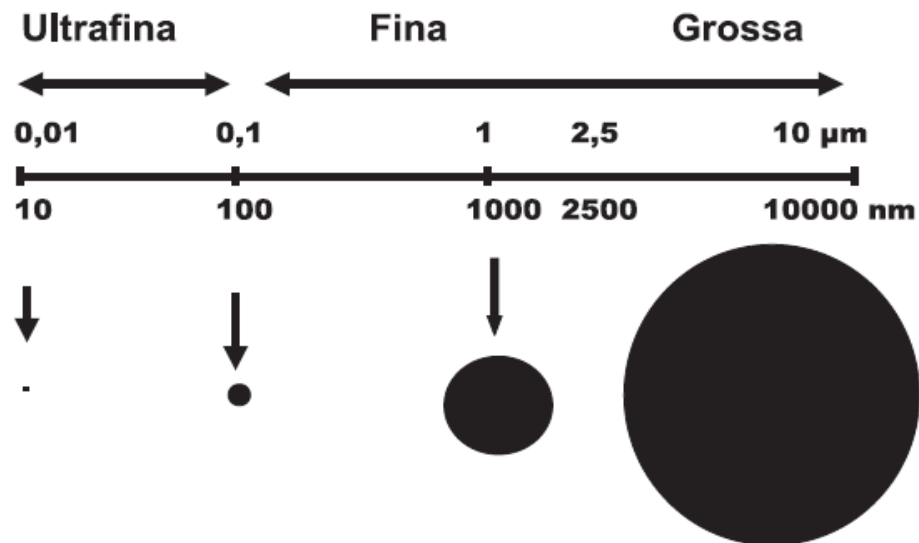


Figura 1 - Partículas grossa, fina e ultrafinaa

Fonte: Arbex *et al* (2004)

3.3.1 Medida de concentração de material particulado

Para coleta de amostras precisas de material particulado em indústrias, ambientes externos ou internos existem no mercado diversos equipamentos de medidas de concentração de partículas suspensas dos quais já foram citados anteriormente.

Para uma correta amostragem de material particulado em dutos é essencial que ela seja representativa (figura 2), ou seja, a velocidade do gás que escoar dentro do duto deve ser igual à velocidade de amostragem (CARVALHO e LACAVA, 2003).

A figura abaixo ilustra um bocal de coleta de partículas, no primeiro caso a velocidade de amostragem é maior do que a velocidade do escoamento, conseqüentemente a concentração de amostragem é menor que a concentração registrada no escoamento, vice versa se repete no segundo caso, para ambas as situações a amostragem não é representativa. No último caso o bocal está em uma situação ideal de coleta, pois a velocidade de amostragem é igual a velocidade de escoamento bem como a concentração de amostragem é igual a concentração do escoamento.

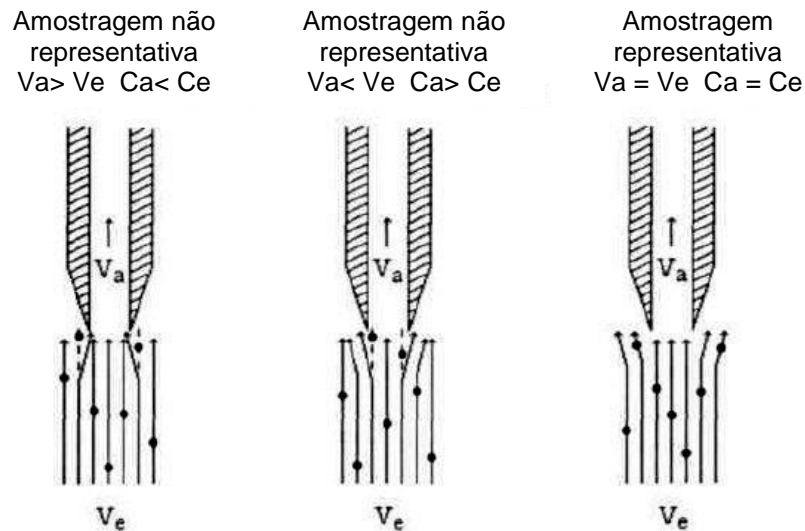


Figura 2 - Condições para amostragem não-representativa e representativa para determinação da concentração de partículas em um escoamento

Fonte: Carvalho e Lacava (2003)

A sonda ou bocal utilizada na medição tem o objetivo de remover a amostra dos gases de combustão representativamente, a sonda deve ser posicionada perpendicularmente ao escoamento e no centro do tubo (CARVALHO e LACAVA, 2003).

3.4 Poluição do Ar e Saúde

Segundo Lopes (2005), a exposição a um poluente é definido como “um evento que consiste na relação entre o homem e o ambiente, dada uma concentração específica de poluente ambiental em um intervalo de tempo determinado.”

A maior ameaça aos seres humanos em relação a doenças respiratórias está ligada com a inalação de aerossóis orgânicos, pequenas partículas penetram no sistema respiratório e causam impactos diretos na saúde (LOUKIA *et al*, 2009). As partículas mais prejudiciais para a saúde são as finas e ultrafinas que representam 94% do total da atmosfera, pois atingem as áreas mais sensíveis do tecido pulmonar (LIMA, 2011).

A figura 3 ilustra a trajetória que as partículas percorrem no sistema respiratório humano.

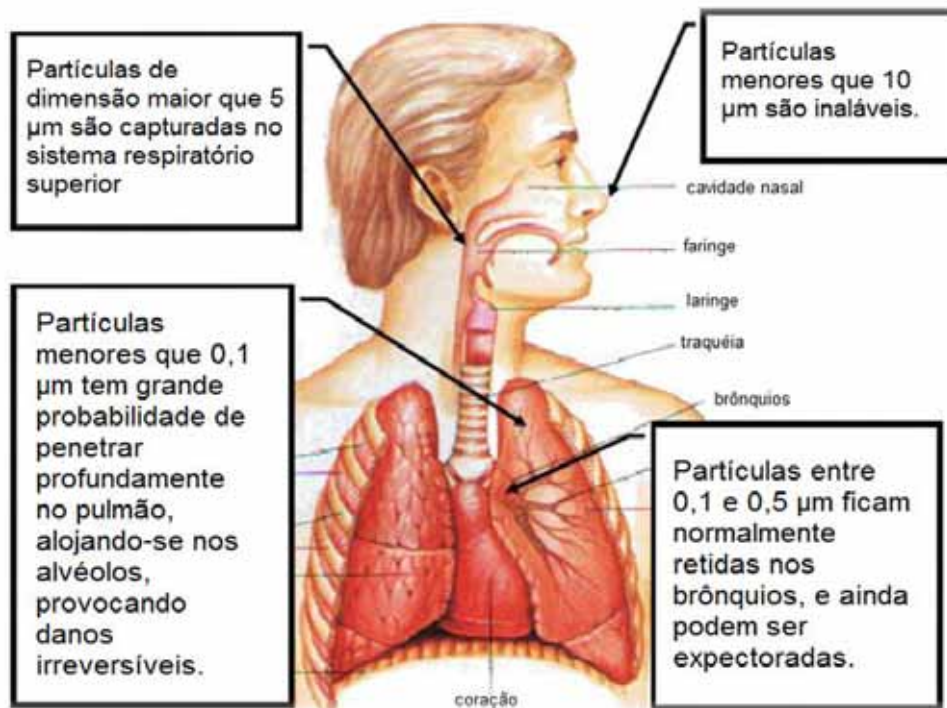


Figura 3 - Penetração do material particulado no sistema respiratório do ser humano

Fonte: Lima (2011)

O grau de toxicidade das partículas se dá pela quantidade absorvida e retida nos alvéolos pulmonares (figura 4).

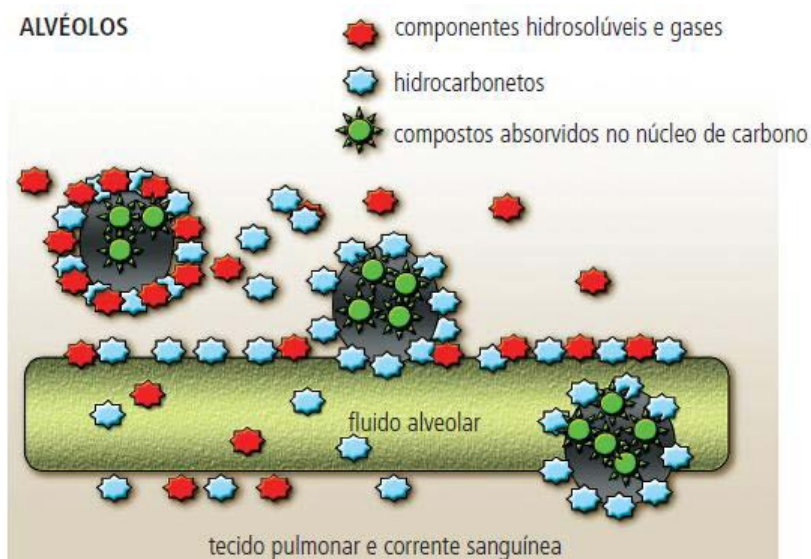


Figura 4 - Representação esquemática da absorção de compostos tóxicos contidas nas partículas depositadas nos alvéolos

Fonte: Conpet (2006)

A figura 5 representa um pulmão lesionado em estágio avançado por um fumante, os pontos negros representam o acúmulo de material particulado.

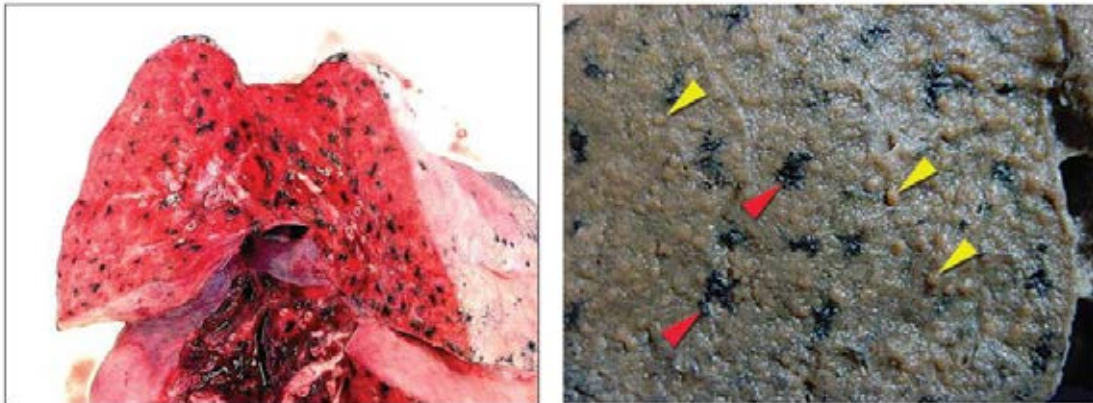


Figura 5 - Material poluente (partículas) acumulado no pulmão humano
Fonte: Conpet (2006)

Segundo Polichetti (2009) a exposição a baixos níveis de material particulado derivado de fumo passivo (até mesmo a inalação da fumaça proveniente de um cigarro por dia) promove no organismo respostas inflamatórias, fumar é um dos riscos mais significativos para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares; fumantes expostos a $PM_{2,5}$ possuem um risco maior a apresentação de arritmia e parada cardíaca em comparação a não fumantes expostos nas mesmas condições do ambiente.

A magnitude dos efeitos prejudiciais à saúde devido a exposição de material particulado causados pela poluição em geral é relativamente menor aos efeitos causados pela exposição a fumaça de tabaco, na literatura encontramos que a concentração de partículas suspensas respiráveis em lugares livres de fumantes é de $7,7 \text{ g/m}^3$ já o valor para ambientes com a presença de fumantes o número passa para 179 g/m^3 (POLICHETTI, 2009).

De acordo com a Cetesb (2010), existe uma relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos à saúde humana, as cores entre as categorias de qualidade do ar foram estabelecidas pela Cetesb, a tabela 13 fornece esses dados para partículas.

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 2 milhões de pessoas morrem anualmente como consequência da poluição atmosférica, a OMS chegou a essa estatística com base em amostras de 1100 cidades de 91 países.

Tabela 13 - Índice geral entre relação da qualidade do ar e efeitos à saúde humana

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	Significado
Boa	0-50	0-50	0-80	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51-100	>50-150	>80-240	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101-199	>150 e <250	>240 e <375	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200-299	≥250 e <420	≥375 e <625	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
Péssima	≥300	≥420	≥625	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB (2010)

No ano de 2005, 4 milhões de pessoas morreram de doenças respiratórias crônicas, atualmente 300 milhões de pessoas sofrem de asma, 80 milhões de pessoas tem doença pulmonar obstrutiva crônica grave. A OMS estima que em 2016 se não forem tomadas medidas urgentes, os casos mais graves aumentarão em cerca de 30%.

O efeito mais grave decorrente da inalação de particulados é o óbito devido às mudanças que as partículas provocam no organismo tanto no sistema respiratório quanto no cardiovascular.

3.5 Qualidade do Ar em Interiores

O ritmo de vida da sociedade contemporânea e as variadas formas de trabalho existentes em ambientes internos fazem com que um número elevado de pessoas passe a maior parte do seu dia em ambientes fechados. Segundo dados da

literatura, temos que, em centros urbanos durante um período de 24 horas, 80% do tempo de um indivíduo é passado em ambientes internos (*indoor*) (QUADROS *et al*, 2010).

Na literatura também podemos encontrar o termo Síndrome do edifício doente (SED) como definição de qualidade do ar interno, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o termo síndrome do edifício doente caracteriza uma situação a qual os ocupantes do prédio apresentam sintomas como: rinite, garganta seca, irritação nasal e ocular, sonolência, lacrimejamento, cefaléia, entre outros; esses sintomas tendem a ser mais frequentes quando o usuário da instalação se encontra em seu interior e tende a diminuir depois que a pessoa deixa o recinto (PERDRIX *et al*, 2005). As principais fontes de queixas relatadas por ocupantes e funcionários em relação à qualidade do ar interno (QAI) são exemplificadas na figura 6.

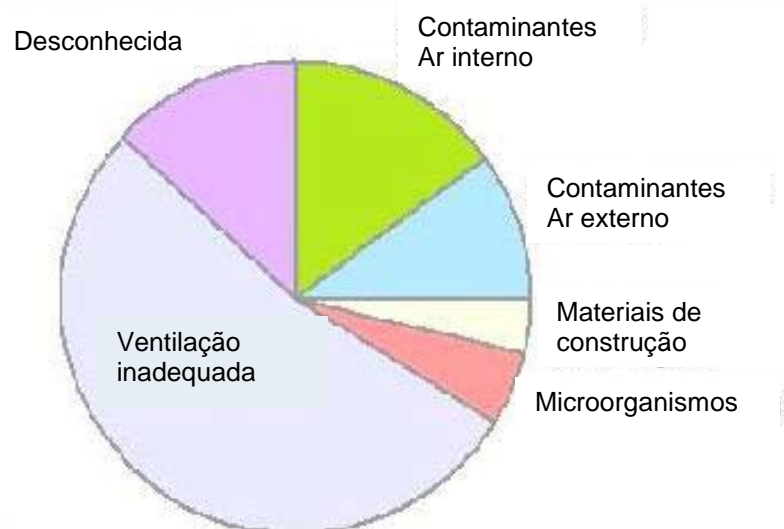


Figura 6 - Principais fontes de reclamação na qualidade do ar interno

Fonte: Quadros *et al* (2010)

A qualidade do ar interno está relacionada às características e aos componentes presentes no ar ambiente, aspectos construtivos do prédio, fluxo de pessoas no ambiente, atividades realizadas pelos ocupantes do local, entre outros fatores, conforme ilustrado na figura 7 (NASCIMENTO, 2011). A tabela 14 apresenta os poluentes do ar de interiores e suas fontes de emissão.

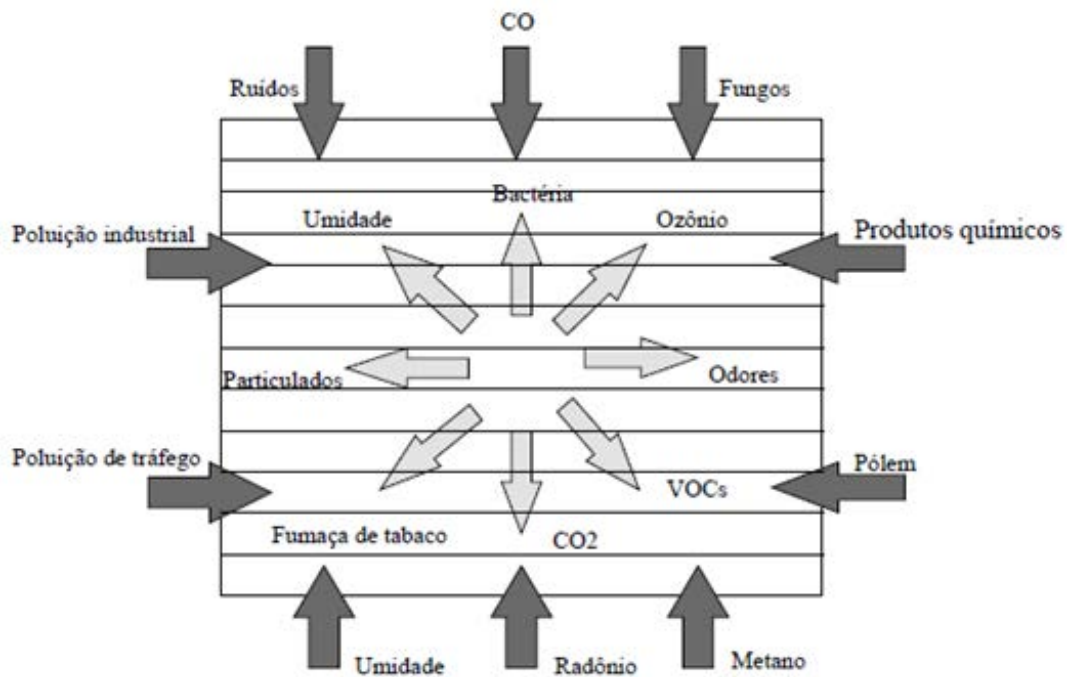


Figura 7 - Fatores que afetam a qualidade do ar interno

Fonte: Prado (2001)

Tabela 14 - Poluentes do ar de interiores e suas fontes de emissão

Poluentes do ar	Fontes de Emissão
Fuligem de fumaça de cigarro	Acender ou fumar cigarros
Contaminação pela combustão	Fornalhas, geradores, aquecedores a gás ou querosene, produtos derivados do tabaco, ar externo, veículos
Contaminação biológica	Materiais molhados ou úmidos, ar-condicionado, umidificadores, manta de isolamento de dutos, respiros da tubulação de esgotos, excremento de pássaros, de baratas ou de roedores, odores de corpo
Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)	Pintura, vernizes, solventes, pesticidas, adesivos, ceras, produtos de limpeza, lubrificantes, purificadores de ar, combustíveis, plásticos, copiadoras, impressoras, produtos derivados do tabaco, perfumes
Aldeídos	Chapas e compensados de madeira, aglomerados, carpetes de madeira, móveis, forros
Gases	Solos e rochas (radônio), ventilação da tubulação de esgoto, ralos com fecho hídrico seco, reservatórios subterrâneos com vazamento
Pesticidas	Termiticidas, inseticidas, rodenticidas, fungicidas, desinfetantes, herbicidas
Partículas e Fibras	Impressoras, combustão em geral, ar externo, deterioração dos materiais, construção/reforma, limpeza, isolamento

Fonte: EPA (2002)

Conforme a *Environmental Protection Agency* EPA (2002), a poluição mais agressiva ao ser humano não se encontra nas águas nem nos alimentos, não

está nas fábricas e nem nas ruas que transitamos, ela está no nosso cotidiano dentro das nossas casas, escritórios, ou seja, dentro de ambientes internos. A agência EPA afirma que a poluição em ambientes internos chega a ser de 10 a 100 vezes maiores quando comparadas à ambientes externos. Segundo Ito (2007) o sistema respiratório é mil vezes mais vulnerável à poluentes internos do que à poluição externa.

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) cerca de três bilhões de pessoas sofrem anualmente com as conseqüências da má qualidade do ar interno, isto equivale à metade da população mundial com problemas de origem respiratória (BRUCE, 2000).

No Brasil, a qualidade do ar interior é afetada também pela poluição externa, pois a troca de ar de ambientes é realizada na maioria das vezes por ventilação comum (janelas abertas), dessa forma a poluição exterior (outdoor) é um fator determinante para estudos de poluição interna (ITO, 2007).

O instituto americano *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) realizou uma pesquisa entre os anos de 1971 e 1988 em 529 edifícios, os principais problemas encontrados são dados na tabela 15.

Tabela 15 - Tipos de problemas identificados em edifícios, investigações realizadas pelo Instituto Nacional de Segurança Ocupacional e Saúde (NIOSH), USA.

Tipos de problemas	Edifícios investigados	%
Contaminação de origem interna (<i>indoor</i>)	80	15
Contaminação de origem externa (<i>outdoor</i>)	53	10
Contaminação originada da estrutura dos edifícios	21	4
Contaminação microbiológica	27	5
Ventilação inadequada	280	53
Desconhecidos	68	13
Total	529	100

Fonte: Ito (2007)

Segundo Ito (2007), o estudo de ambientes internos deve levar em consideração algumas variáveis tais como:

- Odores;
- Excesso de pó;
- Umidade;
- Temperatura;
- Ventilação;

- Mofo;
- Presença de agentes químicos;
- Volume ocupacional do ambiente;
- Localização dos equipamentos que emitem particulados (ex: impressoras, fotocopiadoras...)

O material particulado presente em ambientes internos é em geral menor que o particulado encontrado em ambientes externos, pois possui uma maior variedade de compostos orgânicos devido à natureza de sua fonte (fogão, cigarro, etc.) e as atividades realizadas dentro desses ambientes. Conforme foi tratado anteriormente, o material particulado não causa danos somente à saúde, mas também é o causador de deterioração de materiais e obras de arte (QUADROS *et al*, 2010).

A tabela 16 fornece dados comparativos da concentração de partículas ultrafinas em diferentes ambientes urbanos externos e internos.

Tabela 16 - Concentração de partículas ultrafinas em áreas urbanas

Ambiente	Número aproximado de concentração de partículas ultrafinas em ambientes urbanos por cm³ (valor/cm³)
Residencial (noite)	2000
Escritório	5000
Externo	20000
Veículos (auto estrada)	150000

Fonte: Wilson (2008)

Neste trabalho, o ambiente estudado foi às bibliotecas. Esses locais requerem condições adequadas para conservação do acervo (livros e revistas). O material armazenado pelas bibliotecas pode ser responsável por emissões de compostos químicos e material particulado, as principais variáveis para o estudo da qualidade do ar interno em bibliotecas se referem à quantidade de pessoas presentes no local (funcionários e usuários) bem como seu tempo de permanência (NASCIMENTO, 2011).

3.6 Bibliotecas

A origem da biblioteca é datada no ano de 3000 a.C. na Mesopotâmia, conhecida como Biblioteca de Nínive, pertencia ao rei Assurbanipal II da Síria, seu

material era composto por placas de argila e documentos em papiro onde continham escritas sobre astrologia, religião, matemática, medicina, entre outros. Na Grécia Antiga a primeira biblioteca pública surgiu em Atenas no ano de 540 a.C., outra importante biblioteca mundial surgiu no Egito século III a.C., sendo reconhecida como uma das maiores bibliotecas da antiguidade a Biblioteca de Alexandria possuía cerca de 700.000 pergaminhos em seu acervo (PINHEIRO, 2007).

No Brasil, a primeira biblioteca pública registrada foi datada por volta de 1808, trazida por Dom João VI de Portugal, a biblioteca possuía cerca de 60 mil volumes e localizava-se no Convento do Carmo, hoje conhecida como Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro, é considerada pela Unesco a maior biblioteca da América Latina.

O conceito de biblioteca segundo Rocha (2011) é de uma instituição sem fins lucrativos, uma ferramenta pública de conhecimento para toda a população. Para Vanz (2005) a biblioteca tem como objetivo ser um espaço de cultura, leitura e pesquisa com a finalidade de despertar no usuário o prazer em frequentar e buscar uma leitura agradável em um ambiente tranquilo a qual proporciona a biblioteca. Costa (2003) afirma que o objetivo primordial de uma biblioteca é preservar o patrimônio cultural através de medidas e políticas administrativas, a fim de evitar a degradação e possíveis efeitos maléficos ao acervo. A localização ideal de uma biblioteca é de que ela se encontre preferencialmente dentro de prédios, quarteirões ou no interior de um campus universitário (VANZ, 2005).

Em bibliotecas é preciso haver um rígido controle em relação à temperatura e umidade do ambiente, pois esses fatores afetam diretamente na qualidade dos papéis de livros e documentos em geral, o ideal são os valores de 18 a 22° C para temperatura e 45 a 55% para teor de umidade relativa (ITO, 2007). A umidade deve ser controlada, pois o papel presente nos livros é composto principalmente por celulose, este componente químico apresenta comportamento diverso na presença de água, ou seja, as fibras do papel tendem a dilatar ou contrair conforme o teor de umidade do ambiente, isso causa danos estruturais no papel, desta forma é necessário a conservação do acervo de bibliotecas nas medidas estabelecidas acima (ROCHA, 2011).

Campos *et al* (2008) fornece diretrizes de políticas básicas para preservação do ambiente interno de bibliotecas tais como:

- Temperatura: Uso de ar condicionado;

- Umidade: Uso de desumidificador e higrômetro;
- Ventilação: Estantes devem se posicionar perpendicularmente ao fluxo de ar, espaçamento entre estantes de no mínimo 70 cm;
- Iluminação: Para acervo limite máximo de luz de até 156 lux (lumens por metro quadrado), para acervo sensível o valor passa para 55 lux, uso de persianas para controle de luz externa, uso de lâmpadas fluorescentes;
- Controle qualidade do ar: manter janelas fechadas, realizar manutenção nos aparelhos de ar condicionado, evitar uso de produtos químicos em geral.

Para Vanz (2005) além das características citadas é preciso também haver um conforto ambiental, bem como isolamento acústico da biblioteca, controle da disposição da mobília e equipamentos para preservar o bem estar dos ocupantes e funcionários. Outras medidas para conservação dos livros é mantê-los a uma distância mínima de 7 cm da parede, posicioná-los em um ângulo de 90^o sobre as prateleiras e evitar a compressão entre livros; em relação a mobília recomenda-se que apresente acabamento liso, cantos arredondados, prateleiras ajustáveis e que a prateleira próxima a superfície esteja a uma distância de 10 a 15 cm do piso.

O acervo de uma biblioteca precisa apresentar um programa de manutenção rigoroso, pois conforme o papel vai se deteriorando há a liberação de material particulado no ambiente. De acordo com Costa (2003) a limpeza deve ser realizada conforme a velocidade de acumulação de poeira no ambiente, o método básico é a remoção do pó a seco utilizando aspirador de pó de baixa potência (figura 8), para materiais de maior sensibilidade a limpeza deve adequar-se para que se evitem danos estéticos ao material, ex: uso de pincéis e luvas flanelas de algodão, entre outros (figura 9).



Figura 8 - Limpeza de ambientes
Fonte: Cassares (2000)



Figura 9 - Uso de luvas no manuseio de documentos
Fonte: Cassares (2000)

Estudos sobre qualidade do ar interno em bibliotecas são recentes no mundo acadêmico, em geral a bibliografia encontrada trata sobre concentração de compostos orgânicos voláteis, pesquisas sobre concentração de particulados são escassas.

Embora para Ogden (2001) a preservação do acervo é considerada mais importante do que o conforto das pessoas, este trabalho busca mostrar um equilíbrio para que a qualidade do ar interno de uma biblioteca seja fundamental para o bem estar humano.

3.7 Outros Estudos de Caso

Uma pesquisa realizada por Mouratidou *et al* (2004) no Museu Arqueológico de Thessaloniki localizada no norte da Grécia determinou a concentração de $PM_{2,5}$ em ambientes internos e externos do museu, onde além de seu acervo encontram-se esculturas e antiguidades datados da época Arcaica, Clássica, Helenística e Romana. As amostragens foram realizadas durante um período de 3 meses tendo os seguintes valores: para ambientes internos foi obtida uma média de $40,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e ambientes externos a concentração foi de $24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Segundo Mouratidou *et al* (2004), devido às várias atividades que ocorrem dentro de um museu, como: limpeza por vassouras e retirada do pó, bem como as partículas trazidas pelos calçados dos visitantes são uma das principais razões que explica a maior concentração de $PM_{2,5}$ encontrado no interior do museu em comparação ao seu exterior. O autor conclui em seu trabalho que os aerossóis

presentes em museus requerem uma caracterização mais detalhada para prevenção futura da deterioração das antiguidades.

Na literatura de Saraga *et al* (2011) o objetivo de seu estudo foi identificar as principais fontes que contribuem para a poluição do ar em três tipos de ambientes internos: museu, indústria de estampas e escritório. As medições ocorreram num período de uma semana, os resultados são expressos na tabela 17.

Tabela 17- Valores de PM_{10} e $PM_{2,5}$ obtidos em três diferentes ambientes

Ambiente	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Museu	-	20,3	
Indústria de estampa	96	65	Local 1
	205	151	Local 2
	165	104	Local 3
Escritório	30,4	37,6	Área fumantes
	26,8	30,7	Área não fumantes

Fonte: Saraga *et al* (2011)

Saraga *et al* (2011) afirma que fatores como o tipo de atividades que ocorrem nos ambientes, equipamentos existentes, número de ocupantes e taxa de ventilação são alguns fatores que explicam os diferentes níveis de concentração de partículas. Os maiores valores de concentração foram registrados na seção de encadernação da indústria (local 2) enquanto que o menor valor foi registrado no museu, o número de ocupantes que é respectivamente maior na indústria contribuiu para um significativo fator de diferentes valores medidos.

Maté *et al* (2010) realizou um estudo com o objetivo de analisar e quantificar o impacto de curto prazo à exposição de $PM_{2,5}$ sobre a mortalidade devido a doenças do aparelho circulatório, registradas em Madrid, de 01 de janeiro de 2003 à 31 de dezembro de 2005. Os dados foram fornecidos pela *Madrid Regional Revenue Authority* e obtidos a partir de 27 estações localizadas na cidade de Madrid, as causas da mortalidade analisadas foram: doenças do aparelho circulatório, infarto agudo do miocárdio, doenças isquêmicas do coração e doenças cardiovasculares.

Foram considerados por Maté *et al* (2010) as seguintes variáveis: produtos químicos presente no ambiente, acústica, pólen do ar, gripe já existente no indivíduo, temperatura, sazonalidade e dias da semana. Os valores obtidos para partículas $PM_{2,5}$ e PM_{10} foram respectivamente: $19,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $34,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O autor

concluiu por seus gráficos que quanto maior a taxa de $PM_{2,5}$ presente maior foi a taxa de mortalidade, discutiu também que na cidade de Madrid o nível médio anual recomendado pela OMS que é de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi praticamente o dobro e, que do ponto de vista da saúde, há a necessidade de um planejamento e implementação de medidas específicas destinadas a reduzir os níveis de $PM_{2,5}$ por meio de uma melhor logística em relação ao tráfego urbano e veicular.

No trabalho de Moreno *et al* (2004) o objetivo de estudo foi caracterizar partículas grossas $PM_{10-2,5}$ e finas $PM_{2,5}$ em um ambiente industrial (Port Talbot) e em um ambiente urbano (cidade de Cardiff), as amostras foram coletadas através de um coletor impactador de cascata com vazão de 1100 l/min fluxo de ar. Os valores seguem na tabela 18.

Tabela 18 - Material particulado coletado na indústria Port Talbot e na cidade de Cardiff

Período de tempo	PM (mg)		$PM_{2,5}/PM_{10-2,5}$ relação	total PM (mg/dia)
	10 - 2,5 μm	2,5 μm - 0,1 μm		
Port Talbot				
26/04/01 - 02/05/01	57,35	61,84	1,08	19,86
02/05/01 - 09/05/01	58,42	79,64	1,36	19,72
09/05/01 - 15/05/01	51,12	99,85	1,95	30,19
18/05/01 - 25/05/01	52,04	93,12	1,79	20,73
Total em 25 dias: 553,38 mg				
Cardiff				
22/01/01 - 01/02/01	26,63	75,73	2,84	9,23
01/02/01 - 12/02/01	26	75,74	2,91	9,25
12/02/01 - 19/02/01	41,34	134,53	3,25	25,12
12/02/01 - 26/02/01	19,8	78,11	3,94	13,98
26/02/01 - 02/03/01	14,49	48,85	3,37	15,83
02/03/01 - 06/03/01	29,58	126,25	4,27	38,95
Total em 43 dias: 697,05 mg				

Fonte: Moreno *et al* (2004)

Moreno *et al* (2004) discute sobre a diferença de valores entre os locais amostrados, segundo o autor devido Cardiff ser uma área urbana onde há elevado volume de tráfego, a amostra apresentou uma elevada proporção de sulfatos, nitratos e fuligem, como sendo uma cidade costeira apresentou também uma maior porcentagem de cloretos (NaCl).

Um estudo dirigido por Chao *et al* (2001) analisou a distribuição de partículas no interior de 60 casas em Hong Kong no período de outubro de 1998 à agosto de 2000, sendo que destas, 37 casas foram amostradas durante o inverno e 23 casas durante o verão, para a amostragem utilizou-se um impactador de cascata de oito estágios. Os valores médios obtidos constam na tabela 19.

Tabela 19 - Valores médios de concentração de PM₁₀ em ambientes internos e externos das 60 casas de Hong Kong

Estação	Indoor PM₁₀ (µg/m³)	Outdoor PM₁₀ (µg/m³)
Inverno	64,1	70,1
Verão	43,7	39,6

Fonte: Chao *et al* (2001)

Algumas variáveis levadas em consideração pelo autor foram: número de ocupantes variou de 1 à 7, 17 casas continham membros fumantes e 14 casas praticavam queima de incenso, o período de cozimento variou de 0,2 à 4,5 horas diárias através de uso de gás, as idades de construção das casas variaram de 1 à 50 anos apresentando uma média de 15 anos, haviam casas localizadas no térreo, outras em edifícios de até 37 andares, algumas casas pertenciam à condomínios fechados, outras eram casas populares do governo. A maioria das residências apresentava paredes pintadas por tinta ou algum tipo de adesivo de decoração. O chão geralmente encontrado era composto por madeira, poucas casas apresentaram uso de tapete. Chao *et al* (2001) afirma que níveis mais altos de partículas foram obtidos no interior de casas onde havia atividades como: fumo e queima de incenso.

O estudo de Chao *et al* (2001) concluiu que as 60 casas amostradas apresentaram níveis de concentração de particulados mais elevados no inverno tanto para ambiente interno como externo.

Shilton *et al* (2002) realizou suas pesquisas sobre partículas em um edifício localizado no centro da cidade de Wolverhampton, as amostras foram coletadas em ambientes internos e externos no período de 19 de setembro de 2000 à 01 de maio de 2001. A concentração média obtida para partículas em ar livre foi de 27,6 µg/m³, e para interiores 9,8 µg/m³. O autor considerou variáveis meteorológicas incluindo precipitação, velocidade e direção do vento, estes dados foram coletados por uma estação de monitoramento próxima. Shilton *et al* (2002) concluiu que a

velocidade do vento foi um dos principais fatores relacionados ao fato de a concentração de partículas no exterior ser maior do que no interior, isso se dá possivelmente devido à presença de gradientes de pressão entre o interior e o ar livre.

Na literatura de Habil *et al* (2011) o objetivo de seu estudo foi analisar a exposição de crianças ao material particulado (PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$) presente em ambientes internos e externos de escolas da Índia. As amostras foram coletadas durante o inverno (dezembro de 2007 à janeiro de 2008) e verão (abril de 2008 à maio de 2008) em quatro escolas da cidade de Agra. O autor levou em consideração variáveis como: temperatura, umidade, taxa de ventilação, condição do prédio e sintomas dos alunos. As medições de MP ocorreram em um aparelho denominado monitor de poeira aerossol modelo 1.109 a qual trabalha com o princípio de feixe de luz laser, semelhante ao DataRam 4 *THERMO SCIENTIFIC*. A média das concentrações se encontra na tabela 20.

Tabela 20 - Média das concentrações de material particulado em ambientes internos e externos de quatro escolas indianas

Estação	Indoor	Outdoor	
Inverno	497	465	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	220	219	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	135	126	$PM_{1,0}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Verão	155	150	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	76	72	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	53	49	$PM_{1,0}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fonte: Habil *et al* (2011)

Habil *et al* (2011) concluiu que o aumento nos níveis de MP foram observados durante a ocorrência de atividade física maior entre os alunos, tais como: minutos antes do intervalo, início e término das aulas. A estação também é um fator considerável de diferença nos valores de particulados principalmente no quesito ventilação, conforme a época do ano ocorre maior ou menor ventilação entre outras variáveis.

Ekmekcioglu *et al* (2006) realizou estudos sobre qualidade do ar em cinco escolas de ensino fundamental em Istambul na Turquia, das quais quatro escolas públicas e uma de ensino privado. Nos ambientes internos das escolas públicas, as amostras foram coletadas no período de 27 de abril à 30 de maio de 2004, para a escola particular a amostragem ocorreu entre 19 de março à 03 de abril de 2005. Os

resultados indicaram que, em quatro escolas os níveis de concentração de PM_{10} e $PM_{2,5}$ ultrapassava o recomendado pela OMS, os valores foram de: no ensino público PM_{10} variou de $132,1 \pm 6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $289,6 \pm 14,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com uma média de $221,5 \pm 11,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; para $PM_{2,5}$ de $45,6 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $95,2 \pm 4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentando média de $70,9 \pm 3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na escola particular as concentrações de PM_{10} e $PM_{2,5}$ foram respectivamente: $83,0 \pm 4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $13,3 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ekmekcioglu *et al* (2006) discutiu em seu trabalho que fatores como: intenso tráfego veicular, alta densidade populacional, falta de práticas de limpeza nas escolas públicas são os principais fatores de contribuição para o aumento de emissões de partículas nos ambientes, especialmente pelos escapamentos dos veículos movidos a diesel, o autor concluiu por seus resultados que, escolas localizadas em torno de ruas com intenso movimento veicular apresentaram níveis de PM_{10} e $PM_{2,5}$ acima dos limites recomendados pela OMS, medidas adotadas para aliviar esse quadro seriam ações como: aplicação de sistemas de ventilação e adequação da limpeza de pisos e objetos interiores.

Diapouli *et al* (2006) analisou a concentração de PM_{10} e $PM_{2,5}$ em sete escolas infantis em Atenas durante o inverno de 2003 à 2004 e 2004 à 2005. Os resultados são expressos na tabela 21.

Tabela 21 - Valores mínimo, máximo e médio para concentrações de PM_{10} e $PM_{2,5}$ em ambientes internos e externos de escolas de Atenas

	Indoor PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Outdoor PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indoor $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Outdoor $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mínimo	74,65	49,25	22,06	23,32
Máximo	668,74	401,12	198,58	99
Média	236,13	162,89	82,65	56,25

Fonte: Diapouli *et al* (2006)

Diapouli *et al* (2006) afirma que, como esperado, os níveis de concentração de particulados foram maiores em áreas mais povoadas e de tráfego intenso, e no interior das escolas fatores como aumento da presença de pessoas e intensa atividade também contribuíram para esse aumento.

Nascimento (2008) monitorou durante três semestres consecutivos os níveis de qualidade do ar no interior de salas de aula e bibliotecas sendo os ambientes: salas de aula do prédio da Engenharia Ambiental, da Escola de São Carlos (EESC), salas de aula da Universidade de São Paulo (USP) e a Biblioteca

Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Para monitoramento das salas de aula foram escolhidos os dias da semana correspondentes a segunda e quarta feira no período da tarde, o tempo de coleta variou entre 1 a 2 horas. A coleta de material particulado foi realizada através de uma estrutura (figura 10) composta por uma unidade filtrante acoplada ao medidor de vazão e à bomba.

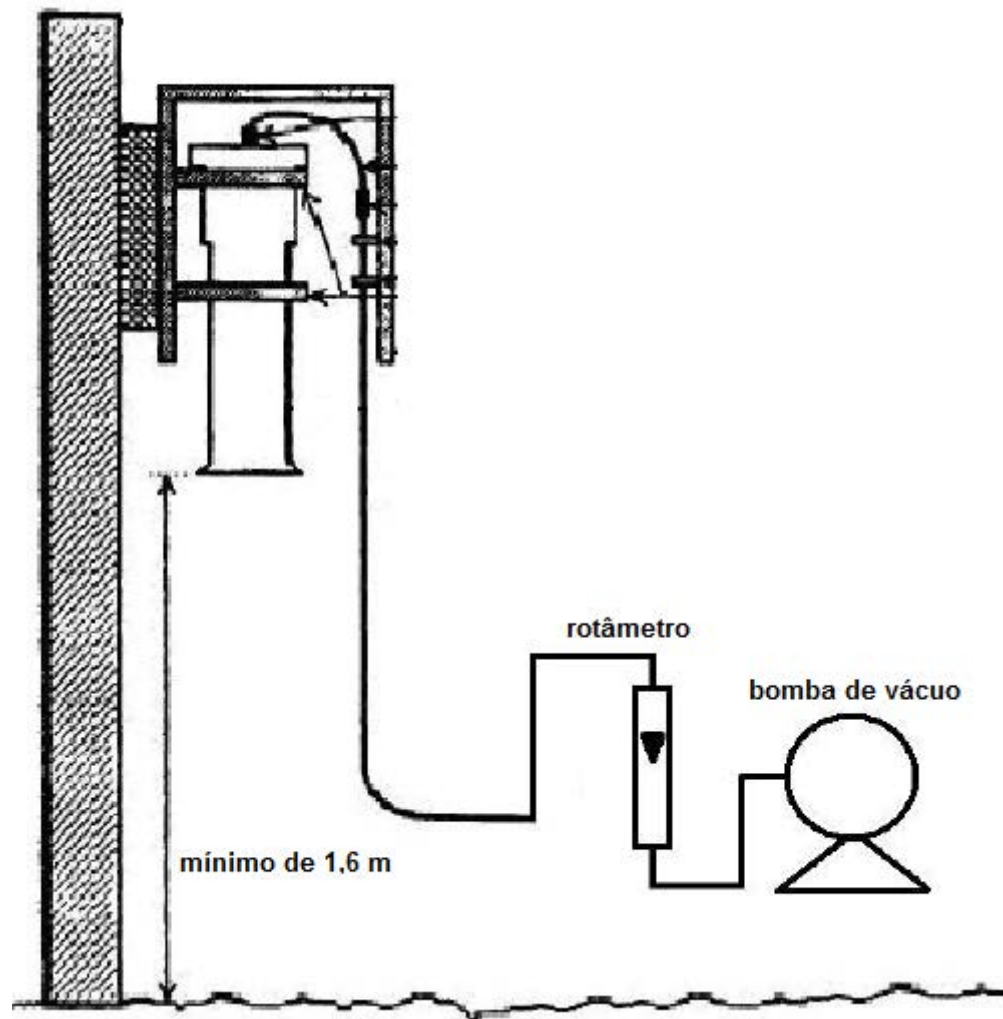


Figura 10 - Montagem do equipamento para coleta do material particulado, com ênfase na unidade coletora.

Fonte: Nascimento (2008)

Neste equipamento, o ar ao entrar pelo bocal atravessa o impactador com rendimento de 50% de coleta de MP com diâmetro de $10\ \mu\text{m}$, após essa fase o ar presente na estrutura apresenta concentração de particulados com diâmetro menor ou igual a $10\ \mu\text{m}$, este ar avança para a unidade filtrante (SFU – Stacked Filter Unit) o qual é composta por duas membranas apresentando as respectivas porosidades: 8 e $0,4\ \mu\text{m}$. A primeira membrana é responsável pela coleta do MP_{10} e a segunda do

MP_{2,5}. A altura entre a superfície do solo e o orifício (bocal) é de 1,6 m objetivando simular a distância de inalação de material particulado entre os ocupantes do ambiente (NASCIMENTO, 2008).

No dia 29 de outubro de 2008 a amostragem de MP ocorreu na sala 26392 /USP, o equipamento utilizado foi o Contador de material particulado AEROCET 531, da marca Met One (figura 11) a qual fornece dois tipos de dados: a concentração (mg/m³) nas frações MP₁, MP_{2,5}, MP₇, MP₁₀ e PTS e a quantidade de partícula em dois diferentes tamanhos (0,5 e 5 µm). A concentração média de MP_{2,5} na sala 26392/ USP foi de 2,55 µg/m³.



Figura 11 - Contador de material particulado AEROCET 531, da marca Met One
Fonte: Nascimento (2008)

Na Biblioteca Comunitária da UFSCar foram selecionados cinco pontos para coleta sendo quatro no ambiente interno e um no externo. A amostragem procedeu durante uma vez por semana no período de uma hora entre os meses de outubro e novembro de 2007. No ambiente interno os pisos analisados foram o 1, 3 e 5. As concentrações médias de material particulado nos pisos 1, 3, 5 e no ambiente externo para PM_{2,5} foram respectivamente: 14,6, 12,5, 13,5 e 7,3 µg/m³.

Em outro trabalho de Nascimento (2011), este monitorou entre abril de 2009 à setembro de 2010 a Biblioteca Pública Municipal Amadeu Amaral localizada na cidade de São Carlos-SP, para determinação do material particulado foi utilizado um Contador de material particulado AEROCET 531, da marca Met One já descrito anteriormente. Cada amostra foi coletada com variação de 2 minutos em um tempo

total de amostragem de 4 horas. As concentrações médias de material particulado nos pisos 1, 2, 3 e no ambiente externo para $PM_{2,5}$ foram respectivamente: 3,93, 2,64, 2,46 e 2,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

No estudo de Ito (2007) foram estudadas quatro bibliotecas públicas, sendo duas na cidade de São Carlos-SP e duas em São Paulo-SP, sendo essas respectivamente: Biblioteca Municipal Amadeu Amaral, Biblioteca Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (USFCar), Biblioteca Conjunto das Químicas da Universidade de São Paulo (CQ-USP) e Biblioteca Infante Juvenil Monteiro Lobato. Os equipamentos utilizados foram: Amostrador de Pequenos Volumes (APV) para faixa de partículas entre $PM_{2,5}$ e PM_{10} , bomba de sucção modelo Millex FA-10 da marca Millipore e um medidor de fluxo da Aalborg sendo estes representados na figura 12.

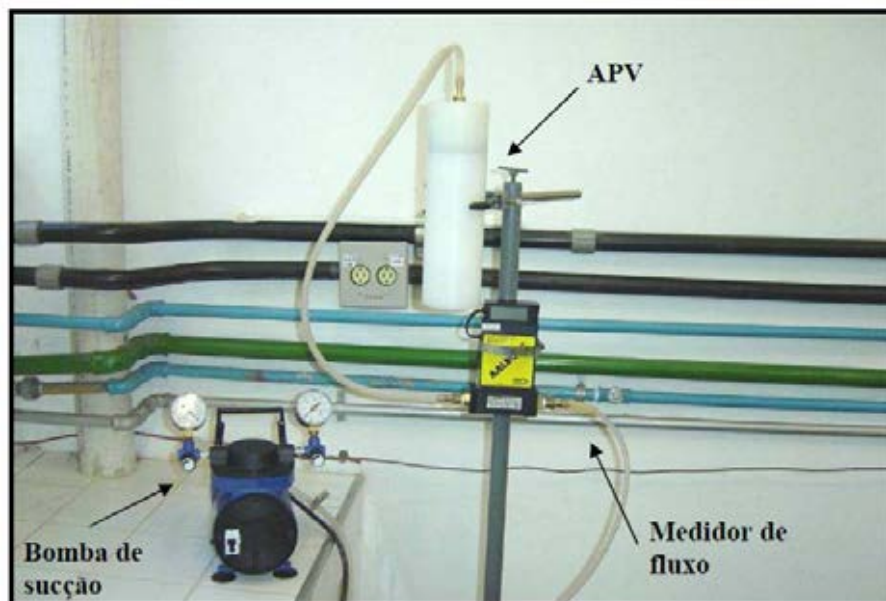


Figura 12 - Amostrador de Pequenos Volumes (APV)

Fonte: Ito (2007)

O período de amostragem ocorreu entre julho de 2005 a junho de 2006, sendo cada coleta realizada uma vez por semana em ambientes internos e externos das bibliotecas. Para cada biblioteca o número de amostras variou devido a área construída, para a biblioteca da UFSCar foram realizadas 8 amostras, na biblioteca Amadeu Amaral 3 amostras, na Biblioteca CQ-USP 2 amostras e a Biblioteca Monteiro Lobato 2 amostras, para todas as bibliotecas realizou-se uma amostragem no ambiente externo.

O resultado para a biblioteca comunitária da UFSCar para os pisos 1, 2, 3, 4, 5 e ambiente externo de concentração anual de $PM_{2,5}$ foram respectivamente de: 71,8; 58,2; 82; 203,7; 112,8 e 87,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para a Biblioteca Amadeu Amaral, as concentrações médias anuais de material particulado nos pisos 1, 2, 3 e no ambiente externo para $PM_{2,5}$ foram respectivamente: 183, 181, 164 e 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na Biblioteca Conjunto das Químicas – USP, as concentrações médias anuais de $PM_{2,5}$ para os pisos 1, 2 e ambiente externo foram respectivamente: 165, 133,9 e 93,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os valores de concentração anual de $PM_{2,5}$ para a Biblioteca Monteiro Lobato para os pisos 1, 2 e ambiente externo foram respectivamente: 202,8; 132,9 e 79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Equipamentos

Neste trabalho foi utilizado o equipamento DataRam 4 *THERMO SCIENTIFIC* para medições de material particulado.

4.1.1 DataRam4 – Modelo DR-4000

O DataRam4 (figura 13) é um equipamento utilizado para medir a concentração de material particulado em aspersão no ar, avalia também as seguintes variáveis: tamanho de partícula, temperatura do ar e umidade; todos os dados podem ser observados em seu visor frontal em tempo real de coleta. Abrange uma faixa diametral da partícula de 0 a 4 μm , temperatura de 0 a 60⁰, umidade relativa de 0 a 100% (não condensado a 25⁰ C). Este equipamento permite o usuário selecionar o intervalo de tempo desejado de coleta de partículas, neste estudo as partículas foram coletadas a cada 15 segundos passados.



Figura 13 - DataRam 4 Modelo DR 4000

O princípio de funcionamento (figura 14) do DataRam4 se dá por bombeamento interno de ar, o aparelho contém dois diodos de emissão de luz que emitem comprimentos de onda de pico de 660 e 800 nm em uma frequência de 27

pulsos por segundo. Através de lentes internas os feixes de luz provenientes dos diodos são absorvidos em mesmo ângulo e de forma assimétrica.

A leitura do diâmetro das partículas se dá através da intensidade de absorção dos feixes de luz localizado na posição central em 60° ($\pm 18^{\circ}\text{C}$). Para coleta do dado concentração da partícula, o equipamento calcula considerando o volume já coletado e se baseando na densidade da poeira de calibração de $2,6 \text{ g/cm}^3$.

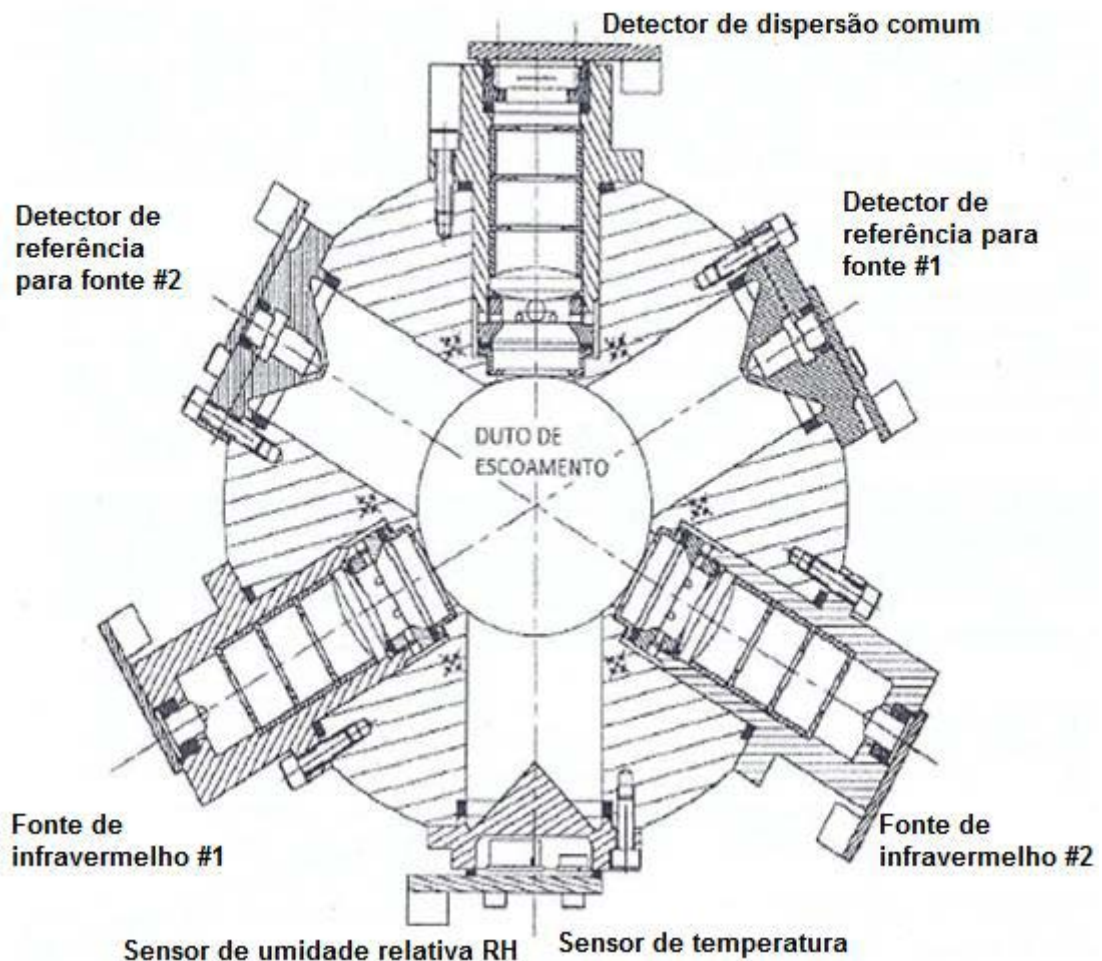


Figura 14 - Configuração do Sistema Sensível Ótico

Fonte: Manual do Equipamento

Este equipamento permite coletas em ambientes abertos e ventilados, tanto em salas como em chaminés industriais, para tal utiliza-se os acessórios opcionais como a sonda omnidirecional e a sonda isocinética, além do aquecedor de fluxo e o ciclone pré separador.

Para amostragens em ambientes fechados como salas, escritórios, casas, bibliotecas, escolas, entre outros, recomenda-se que a entrada do bocal de amostragem se encontre a uma distância mínima da parede de 20 à 30 cm. É indicado que o equipamento realize monitoramento do ar no centro do ambiente, longe de correntes de ar (exaustores, ventiladores) de modo que os dados sejam representativos.

Neste trabalho utilizou-se um seletor de partículas de $PM_{2,5}$ (figura 15a) e uma entrada de amostragem omnidirecional (figura 15b).

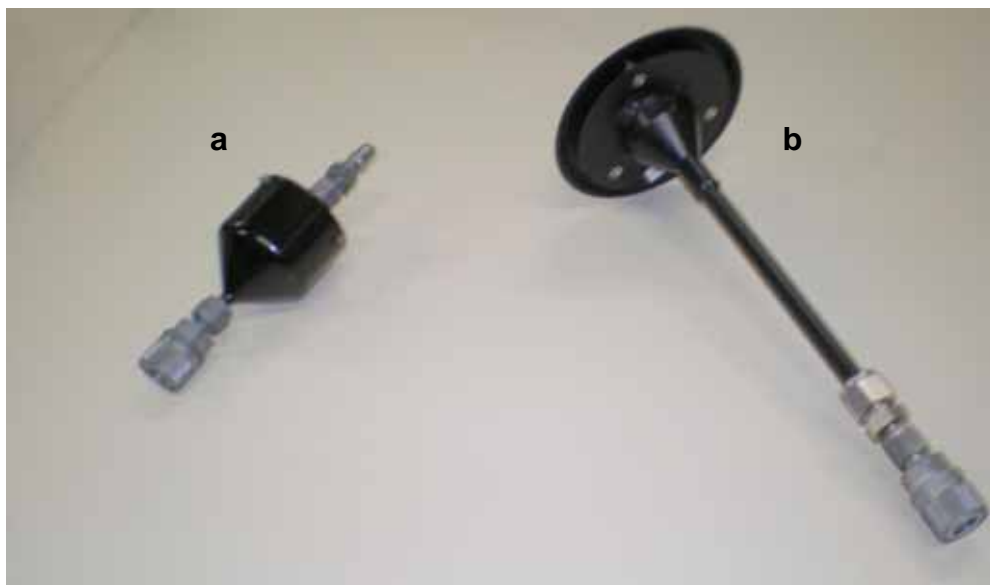


Figura 15 - Acessórios DataRam 4. (a) Seletor de partículas, (b) Entrada de Amostragem Omnidirecional

4.2 Amostragens

As amostras foram realizadas em ambientes internos e externos de diferentes bibliotecas. O número mínimo de amostras coletadas foi baseado na Resolução ANVISA nº9, de 16 de janeiro de 2003 conforme já mencionado na Revisão Bibliográfica. As amostras foram coletadas com o bocal de entrada de particulados (sonda omnidirecional) estando acima de 1m da superfície conforme manual do equipamento DataRam 4. Para amostragem deve-se evitar dias de precipitação, pois com a umidade as partículas tendem a ter seu diâmetro alterado pela presença de gotículas de água.

4.2.1 Biblioteca Pública Municipal Prof^a Josina Vasques Ferrari

Localizada no município de Itapeva-SP, a biblioteca está instalada na Estação Cultura Newton de Moura Muzel (figura 16 e 17). Possui uma área total de 548 m², divididos entre o piso e dois mezaninos, recebe em média 120 pessoas por dia.

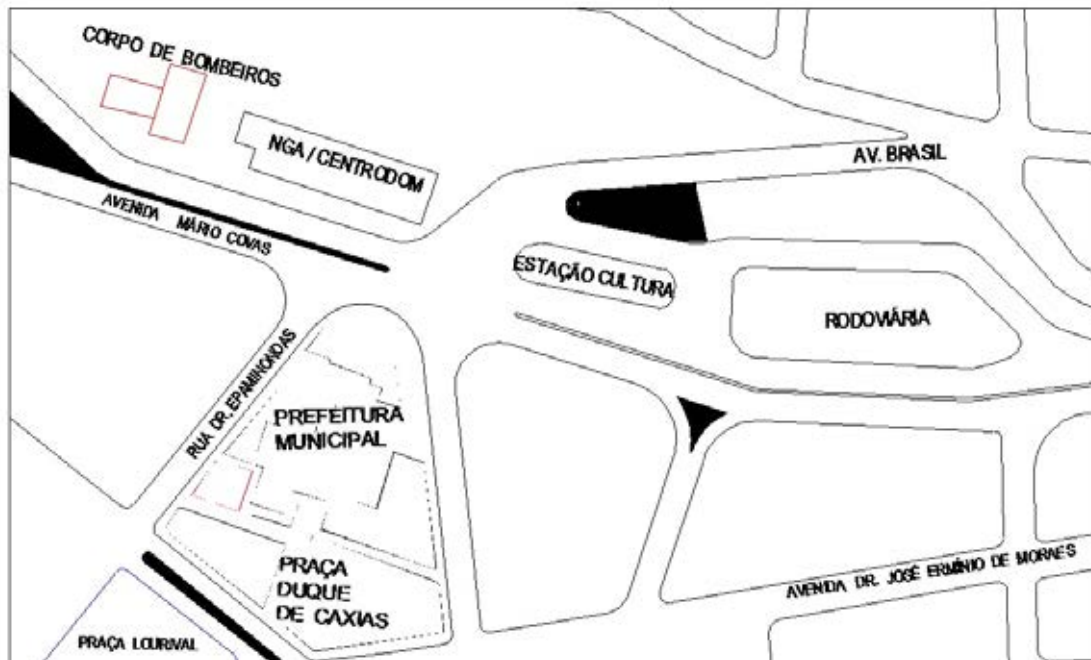


Figura 16 - Vista superior área de localização da Estação Cultura (Biblioteca Municipal de Itapeva)

Fonte: Imagem cedida pela administração da biblioteca



Figura 17 - Vista da biblioteca municipal de Itapeva

A biblioteca conta com cerca de 20.000 títulos em seu acervo e, em 2011, registrou 27.774 atendimentos.

A biblioteca se divide da seguinte forma:

- Piso: Compreende aos seguintes ambientes: Salão principal, Recepção, Espaço Cultura Afro, Banheiros, Área de leitura, Estantes de livros, Museu, Administração, Sala do secretário, Almojarifado, Arquivo de Memória Histórica e Copa;
- Mezanino 1: Estantes de livros, mesas de leitura;
- Mezanino 2: Estantes de Documentação Administrativa.

A biblioteca se situa entre duas vias de intenso tráfego de veículos. Com o objetivo de verificar o efeito desta movimentação intensa realizaram-se duas medições, sendo uma no ambiente interno e uma no externo, compreendendo os dias 14 e 20 de março de 2012. Em média as amostras ocorreram das 10:00 às 17:00 horas, observando que o valor mínimo necessário de amostragem em ambiente interno e externo é uma hora, os resultados apresentam valores de aproximadamente sete horas consecutivas de medições.

4.2.2 Biblioteca Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

A biblioteca (figura 18) localiza-se no campus da UFSCar na cidade de São Carlos-SP, Rodovia Washington Luiz, Km 235. Possui uma área total de 9000 m², divididos entre 5 pisos, recebe em média 2000 pessoas por dia.

A biblioteca se divide da seguinte forma:

- Piso 1: Administração, Recepção, Área de descanso, Área de leitura;
- Piso 2: Estantes de livros, Área de repouso infantil, Mesas para estudo;
- Piso 3: Estantes de livros, Salas de estudo, Salas com fotocopiadoras, Mesas para estudo;
- Piso 4: Estantes de revistas e dicionários, Mesas para estudo;
- Piso 5: Estantes de livros, arquivos e documentos, Mesas para estudo.

De acordo com as normativas para essa área, foram realizadas oito medições internas (duas amostragens no piso 1, três no piso 2 e uma para os restantes) e uma externa respectivamente no período de 30 à 31 de março e 02 à 03 de abril de 2012, devido o fato da biblioteca ser dividida entre pisos consideramos a área para cálculo do número de amostras de 4500 m².



Figura 18 - Vista da biblioteca comunitária de São Carlos

4.2.3 Biblioteca do Campus Unesp em Itapeva

A biblioteca (figura 19) localiza-se no campus da Unesp em Itapeva-SP, Rua Geraldo Alckmin, 519. Possui uma área total de 268,74 m², divididos entre 2 pisos, recebe em média 170 pessoas por dia.



Figura 19 - Vista da biblioteca do campus Unesp em Itapeva

A biblioteca se divide da seguinte forma:

- Piso 1: Recepção, Estantes de livros, Mesas para Estudo, Computadores;
- Piso 2: Administração.

Para essa medida de área, a norma recomenda uma medição para cada ambiente, assim foi realizada uma medição interna e uma externa no dia 10 e 11 de maio de 2012. Em média as amostras ocorreram das 15:00 às 18:00 horas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são divididos para cada dia de amostragem e expressos por meio de gráficos.

5.1 Biblioteca Pública Municipal Profª Josina Vasques Ferrari

A biblioteca localiza-se numa área de intensa emissão de particulados, ao lado de duas rodoviárias, e cercada por ruas movimentadas. Em seu interior há cerca de 15 computadores e três impressoras, grandes fontes emissoras de material particulado.

5.1.1 Ambiente Interno

No dia 14 de março de 2012 foram coletados dados de material particulado pelo DataRam 4 no ambiente interno da biblioteca no período de 10:26 e 18:04 horas, os valores de concentração durante o tempo total de coleta se encontram na figura 20.

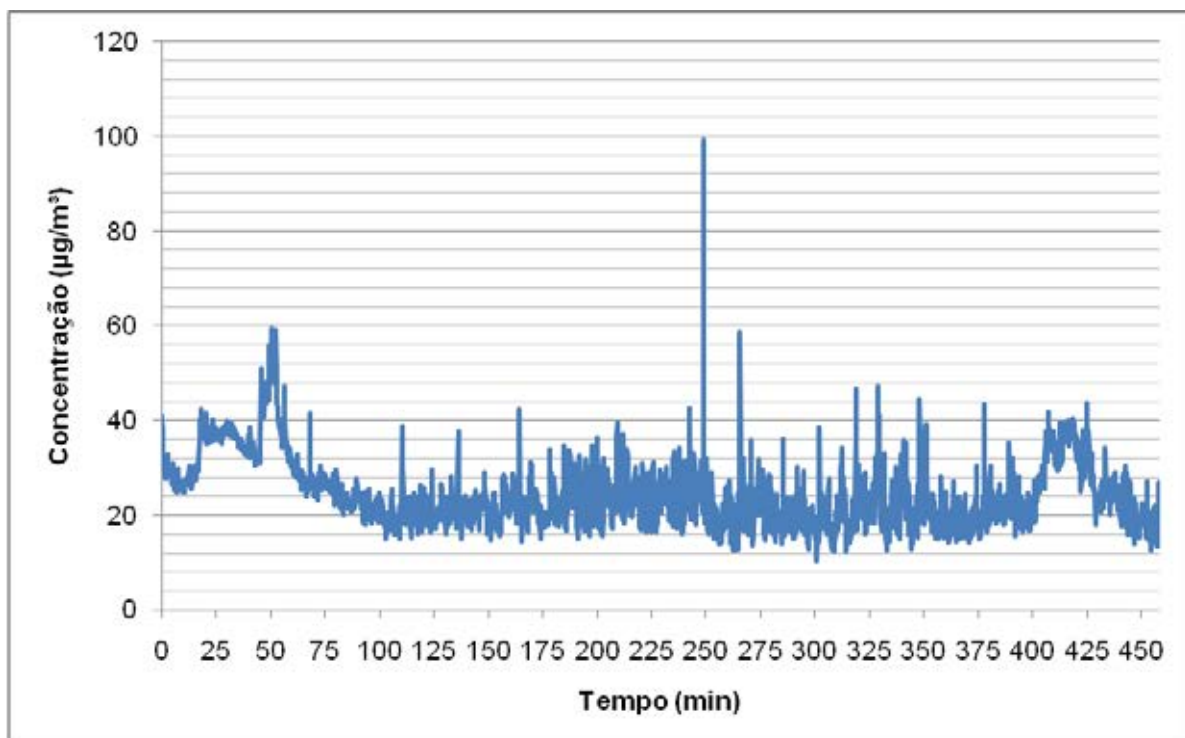


Figura 20 - Concentração de material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca municipal de Itapeva

Os resultados foram abaixo dos padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS) de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração média diária, a média obtida foi de $24,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em 64 % do tempo total a amostragem concentrou-se na faixa de 0 a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor máximo emitido foi de $99,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esse pico foi atingido no período de retorno dos funcionários do horário de almoço, bem como há maior movimentação dos usuários no setor de acesso à internet. Notamos que há um padrão constante de emissão.

Verificou-se picos acima dos padrões entre os períodos de 0-50 min e 400-425 min, o primeiro compreende a uma limpeza realizada por funcionários, o uso de vassouras e produtos químicos para retirada de pó liberam material particulado. O outro pico se situa a partir das 17:30 horas onde há movimentação dos usuários no sentido de se retirarem da biblioteca, variáveis como arrumação de material e movimento dos tecidos da roupa contribuem para números maiores de concentração de MP.

Comparando ao trabalho de Nascimento (2008) em que o maior valor registrado de $\text{PM}_{2,5}$ na Biblioteca Comunitária da UFSCar foi de $14,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o valor obtido no ambiente interno da biblioteca municipal de Itapeva apresenta um valor superior, uma possível causa é a localização, a biblioteca encontra-se entre duas vias de tráfego constante.

A figura 21 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

A maior faixa concentrou-se entre 0,1 a $0,3 \mu\text{m}$. O diâmetro médio foi de $0,24 \mu\text{m}$ e o diâmetro mínimo foi de $0,11 \mu\text{m}$. Percebe-se números diametrais exclusivamente na faixa compreendida a partículas ultrafinas as quais são as mais danosas a saúde humana, podendo atingir os alvéolos pulmonares, principalmente se as emissões forem acima dos padrões permitidos para essa faixa.

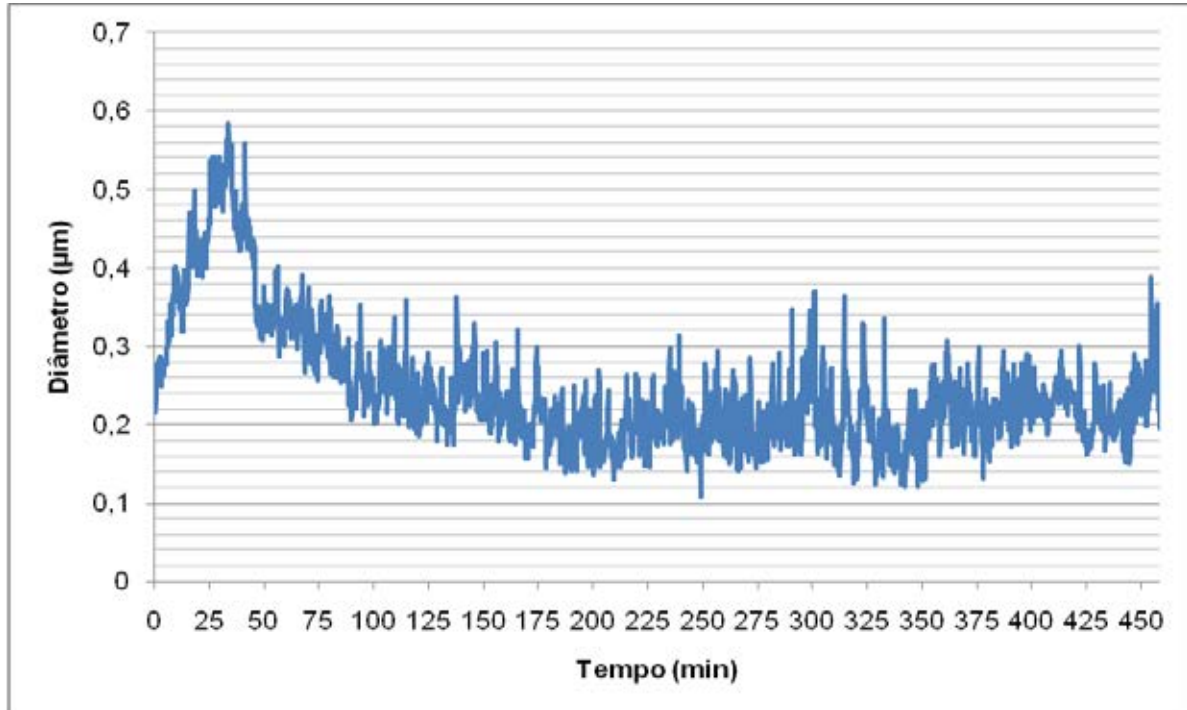


Figura 21 - Variação diametral do material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca municipal de Itapeva

A figura 22 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

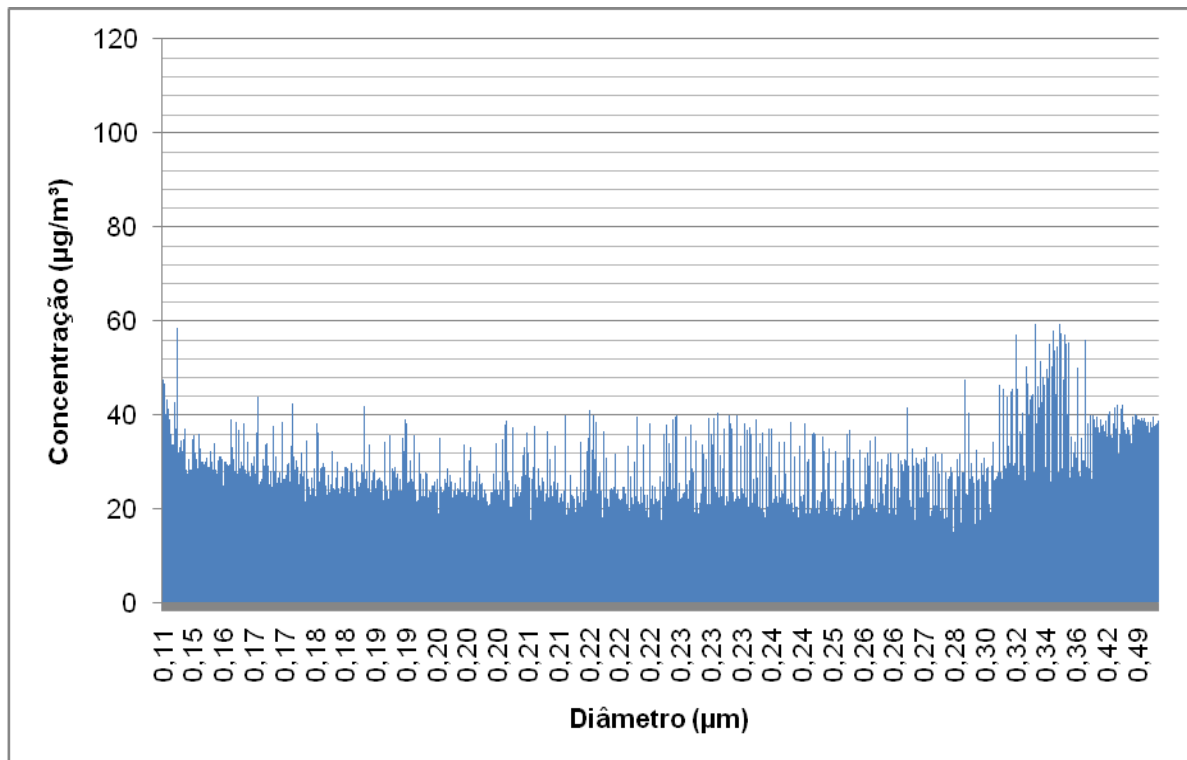


Figura 22 - Relação entre concentração de particulados emitidos e seu diâmetro correspondente

Na figura 22, percebemos que não houve grandes diferenças em relação à concentração das partículas na faixa de diâmetro entre 0,15 a 0,28 μm . Para partículas com diâmetros maiores que 0,30 μm as concentrações emitidas foram maiores do que o permitido pelos padrões da OMS. Em 36% do tempo de amostragem as medições ficaram acima 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estes resultados mostram que algumas providências devem ser tomadas para a diminuição destas concentrações.

5.1.2 Ambiente Externo

No dia 20 de março de 2012 o ambiente externo da biblioteca municipal de Itapeva foi amostrado, entre 09:53 e 17:58 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 23.

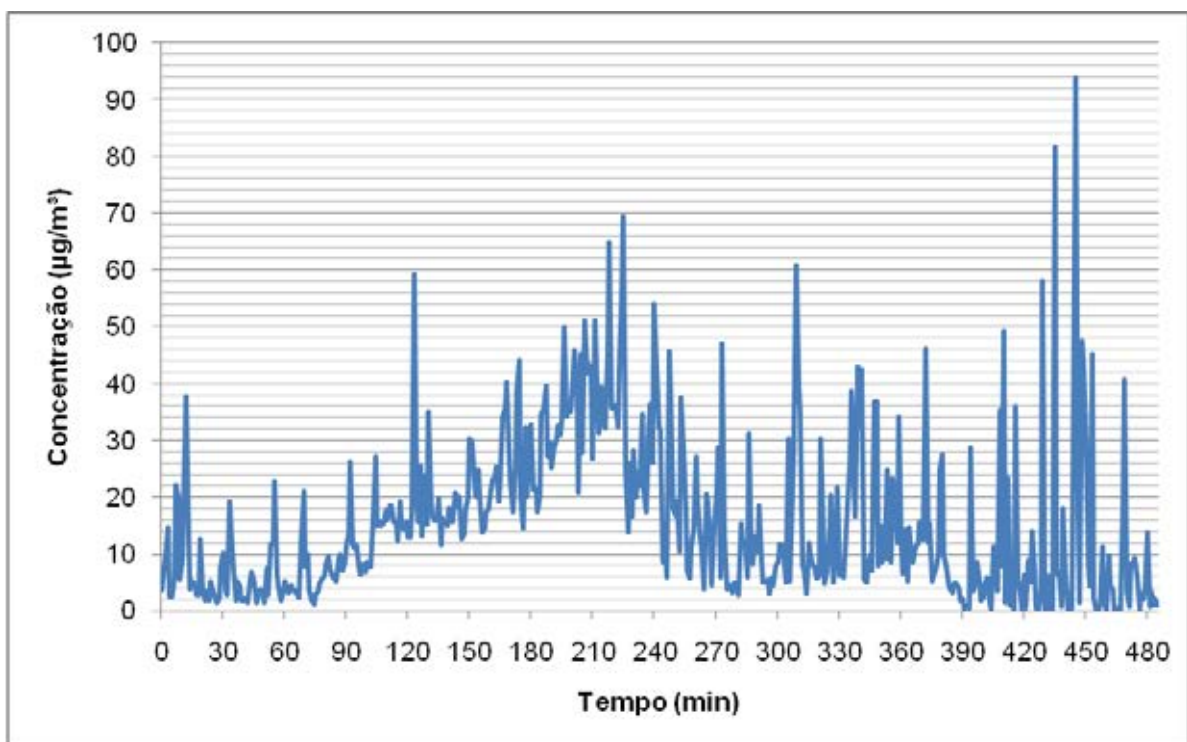


Figura 23 - Concentração de material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca municipal de Itapeva

Há dois picos de concentração de particulados, situados entre o meio dia e ao final da tarde (fim do horário comercial) devido à maior circulação de veículos, coincidindo entre os períodos de pico do ambiente interno. A concentração máxima

registrada foi de $93,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a média do ambiente externo foi de $15,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Os valores estão de acordo com os limites de emissão.

Comparando ao estudo de Nascimento (2008), o valor registrado pelo autor no ambiente externo da Biblioteca Comunitária da UFSCar foi de $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2,5}$; como já discutido na seção anterior, fatores como movimento intenso de veículos e presença de rodoviárias ao redor da biblioteca influenciam para maiores valores de concentração. A figura 24 mostra a variação diametral das partículas pelo tempo de amostragem.

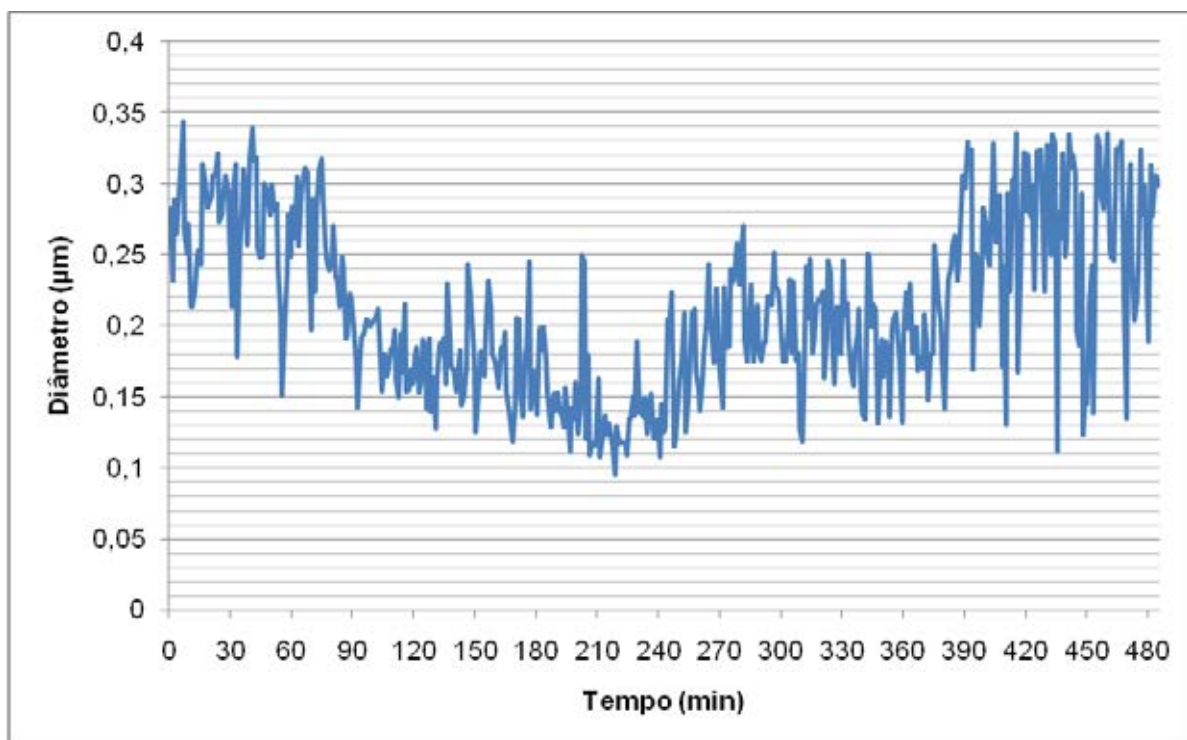


Figura 24 - Variação diametral do material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca municipal de Itapeva

Em geral, no ambiente externo o comportamento das partículas apresentou uma frequência quase absoluta entre a faixa diametral de $0,1$ a $0,35 \mu\text{m}$. O diâmetro mínimo foi de $0,09 \mu\text{m}$ e o máximo de $0,34 \mu\text{m}$. A média obtida foi de $0,21 \mu\text{m}$. Os maiores valores foram para os períodos da manhã e final da tarde. Cabe lembrar que para essa faixa de tamanho encontrado, classificam-se as partículas danosas a saúde humana.

A figura 25 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

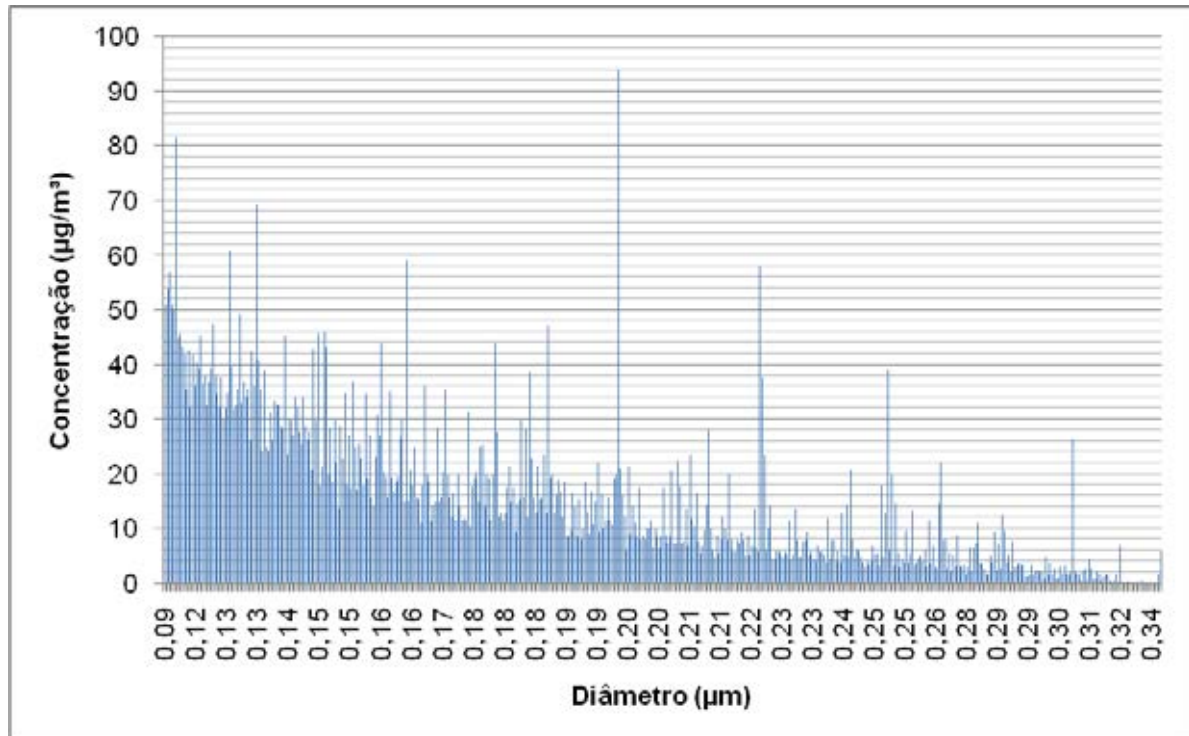


Figura 25 - Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente externo e seu diâmetro correspondente

Na figura podemos notar que para maiores concentrações foram emitidas as menores partículas. A maior concentração registrada de 93,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondeu ao diâmetro 0,19 μm . Este gráfico evidencia os efeitos prejudiciais das emissões veiculares, maiores concentrações para os menores tamanhos amostrados (0,09 a 0,15 μm). Nesta faixa de diâmetro ocorre o transporte das partículas junto às linhas de corrente de ar, e estas alcançarão ambientes internos próximos a este local, como a biblioteca municipal, afetando a saúde dos usuários e funcionários.

Na literatura não encontramos valores comparativos em relação ao diâmetro de partículas, os estudos relacionam somente a concentração de MP em relação ao tempo de amostragem.

5.2 Biblioteca Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

A descrição dos componentes principais de emissão de particulados é citada no trabalho de Ito (2007), segundo o autor a biblioteca conta com 128 computadores, 14 impressoras e 2 máquinas fotocopadoras. A biblioteca localiza-se em frente à avenida principal (Av. Biblioteca Comunitária) onde há intensa circulação de veículos e ônibus, ao redor da biblioteca há uma arborização favorável, vale

ressaltar que o campus da UFSCar compreende a uma área cercada por árvores, onde a natureza sobressai no aspecto visual.

5.2.1 Piso 1

No dia 30 de março de 2012 o ambiente interno (piso 1) da biblioteca comunitária de São Carlos foi amostrado, entre 09:25 e 12:22 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 26.

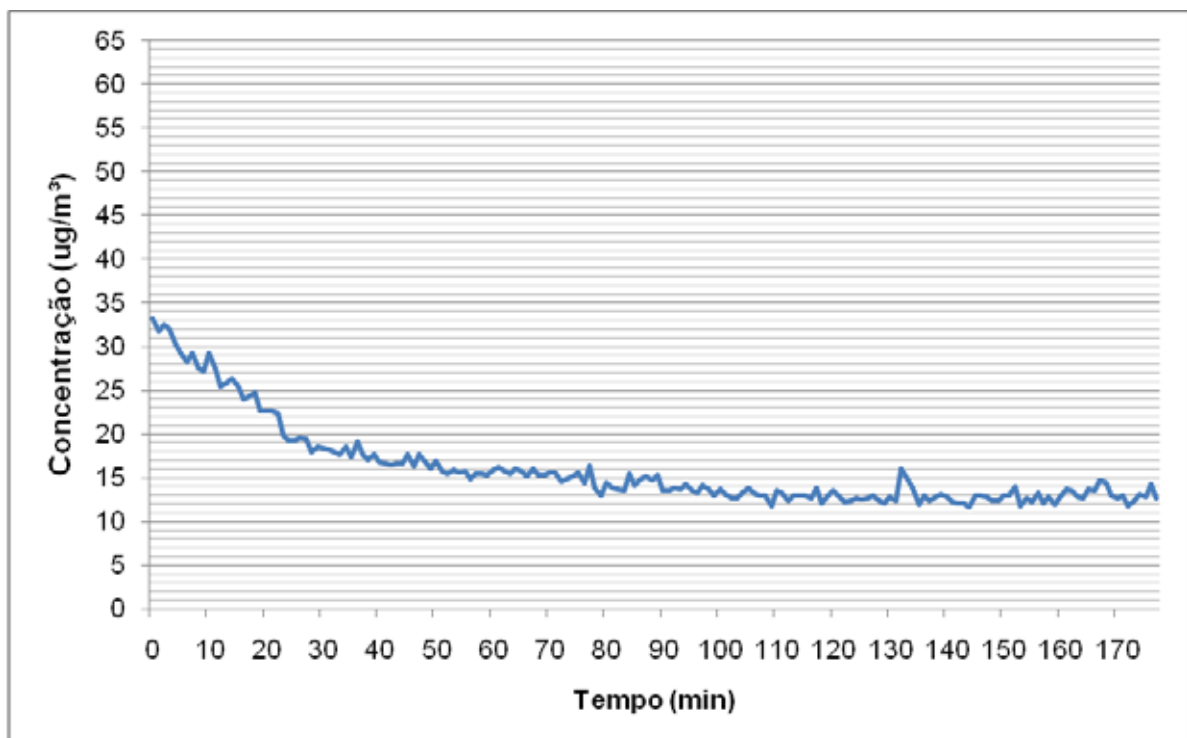


Figura 26 - Concentração de material particulado obtido no piso 1 da biblioteca comunitária da UFSCar

Observamos que as maiores concentrações ocorrem no período da manhã, durante o intervalo de aula dos alunos da UFSCar, neste período há maior movimentação da biblioteca devido à constante entrada e saída dos alunos. Existem muitos computadores e fotocopiadoras na seção de Administração do piso 1, que contribuem na emissão de material particulado. A concentração máxima amostrada foi de $33,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a média de $16,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estando este valor dentro do padrão da OMS.

Em comparação com a média obtida pelo ambiente interno da biblioteca municipal de Itapeva ($24,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o número registrado no piso 1 é relativamente

inferior, mesmo levando em consideração a maior taxa de circulação de usuários; uma variável fundamental neste caso é a interferência de fatores externos para a qualidade do ar do ambiente, a média de concentração de MP do piso 1 apresenta valor adequado ao conforto e bem estar dos ocupantes. Nascimento (2008) apresentou o valor de $14,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, referente ao mesmo piso e biblioteca tratada nesta seção, temos portanto que o valor obtido pelo DataRam encontra-se semelhante ao já amostrado em experiências anteriores.

A figura 27 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

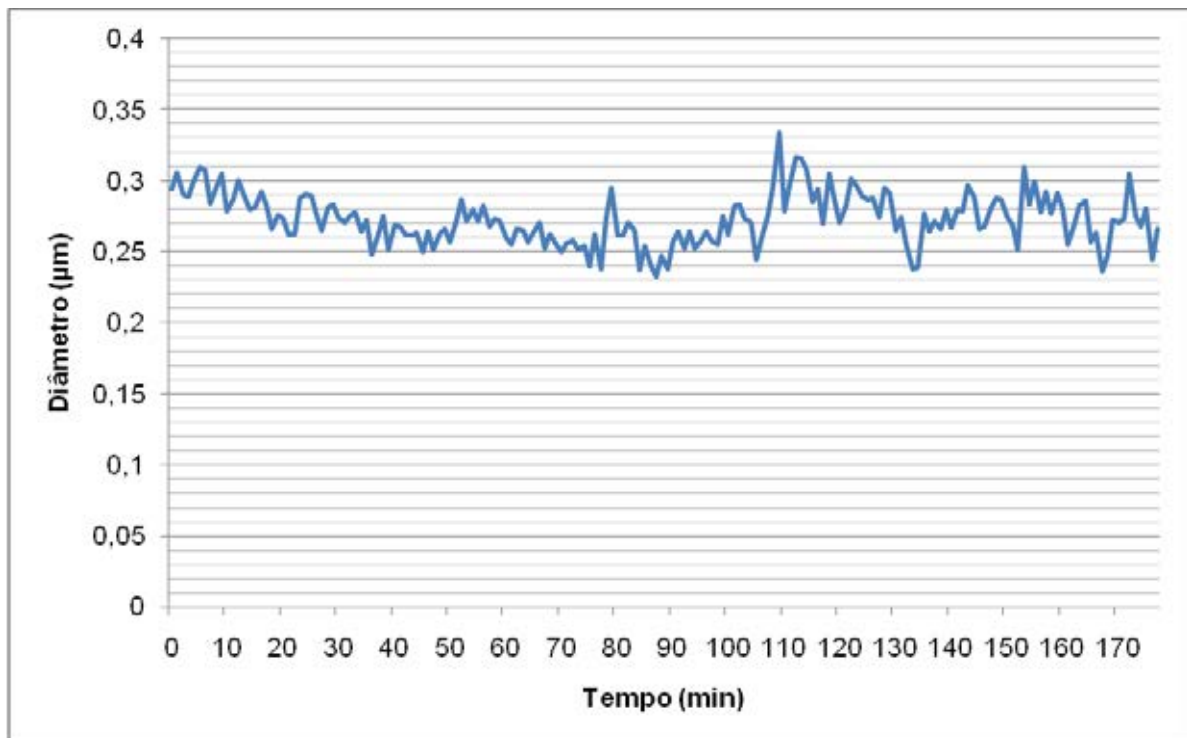


Figura 27 - Variação diametral do material particulado obtido no piso 1 da biblioteca comunitária da UFSCar

As partículas apresentam uma frequência de 83% entre diâmetros na faixa de 0,25 a 0,3 μm . O diâmetro máximo obtido foi de 0,33 μm e mínimo de 0,23 apresentando uma média de 0,27 μm . Comparando ao diâmetro médio registrado no ambiente interno da biblioteca municipal de Itapeva (0,24 μm) percebemos que há semelhança entre os resultados amostrados em ambos ambientes internos. Ressaltando que este diâmetro de partícula traz inúmeros efeitos nocivos ao homem.

A figura 28 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

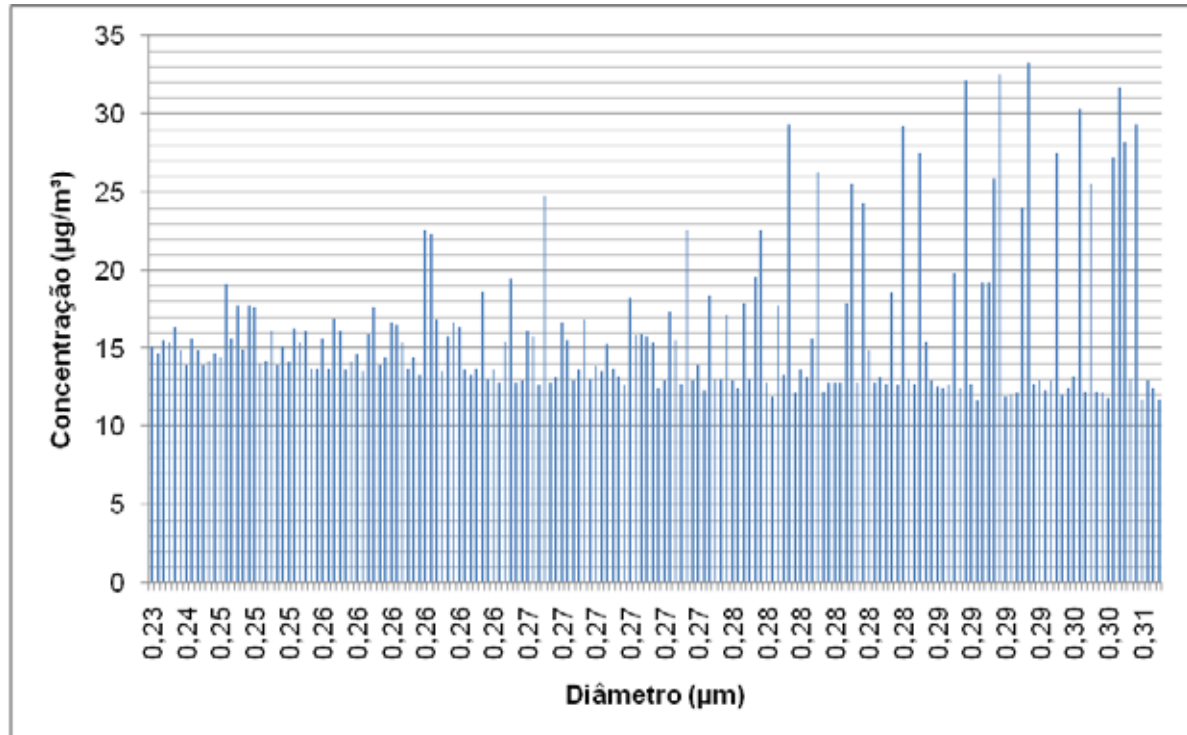


Figura 28 - Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 1 e seu diâmetro correspondente

Em geral, não houve uma diferença considerável na concentração de particulados emitidos na faixa de diâmetro entre 0,23 a 0,27 µm, onde a concentração foi a média obtida. Para diâmetros de partículas acima de 0,27 µm as concentrações foram maiores. Em 9% do tempo total amostrado as partículas apresentaram concentrações fora do padrão da OMS

5.2.2 Piso 2

No dia 30 de março e 02 de abril de 2012 o ambiente interno (piso 2) da biblioteca comunitária de São Carlos foi amostrado, entre 14:23 e 18:56 horas de 30 de março e 13:20 as 15:17 horas do dia 02 de abril. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 29.

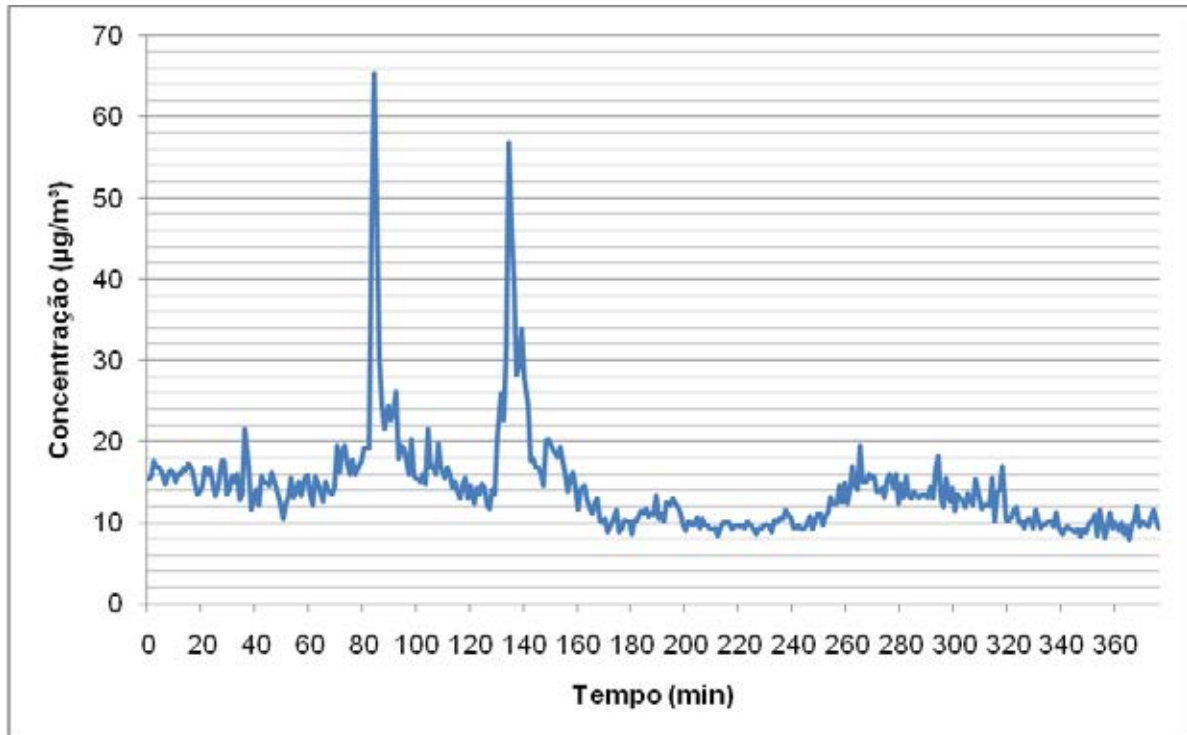


Figura 29 - Concentração de material particulado obtido no piso 2 da biblioteca comunitária da UFSCar

Pela figura, temos que o primeiro pico de concentração coincide com o período de intervalo dos alunos, o segundo pico de concentração compreende a uma visita que ocorreu na biblioteca por crianças de escolas infantis da cidade de São Carlos para visitação da biblioteca, no caso o piso 2 contém a Gibiteca (espaço de gibis/literatura infantil), onde as crianças se concentraram. A concentração máxima obtida foi de $65,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a média registrada foi de $14,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A figura 30 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

A maior frequência de diâmetros de partículas no intervalo de tempo amostrado foi na faixa de $0,2$ a $0,3 \mu\text{m}$. O diâmetro máximo coletado foi de $0,41 \mu\text{m}$, mínimo de $0,13 \mu\text{m}$, a média diametral foi de $0,23 \mu\text{m}$. Se comparado com a faixa de diâmetro da biblioteca municipal de Itapeva ($0,24 \mu\text{m}$) verificou-se que os valores foram próximos, entretanto na biblioteca municipal amostraram-se diâmetros menores que $0,1 \mu\text{m}$, indicando a possível presença de particulados provenientes de veículos.

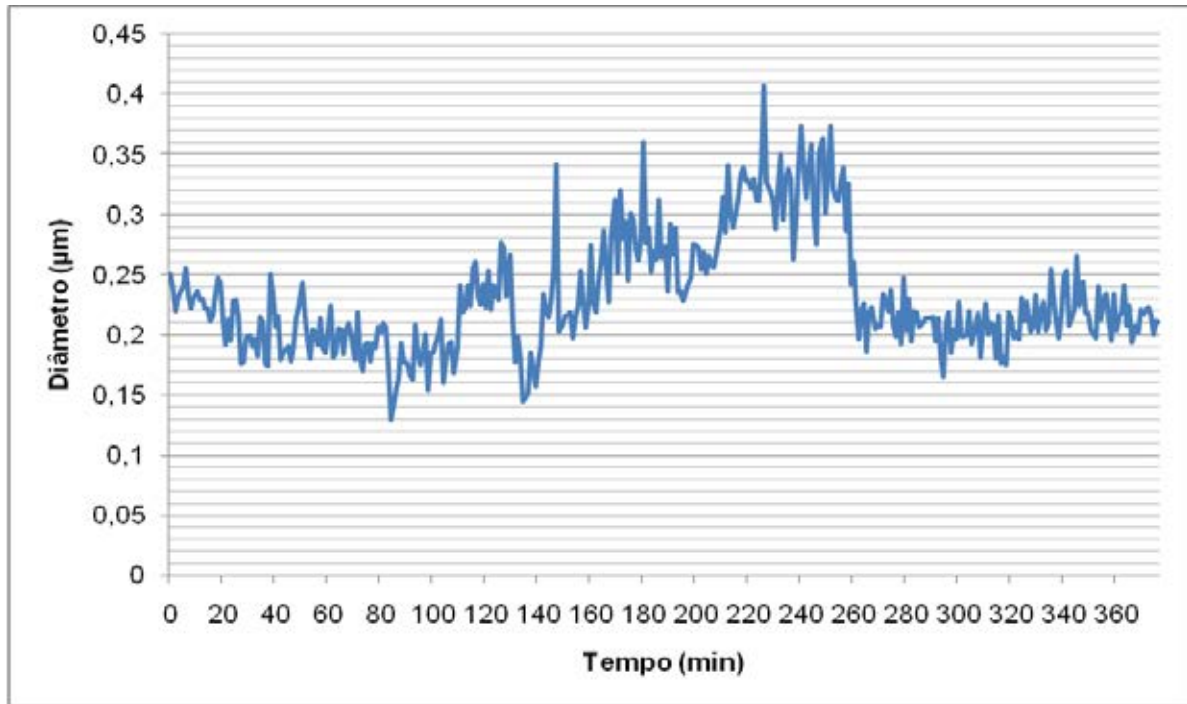


Figura 30 - Variação diametral do material particulado obtido no piso 2 da biblioteca comunitária da UFSCar

A figura 31 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

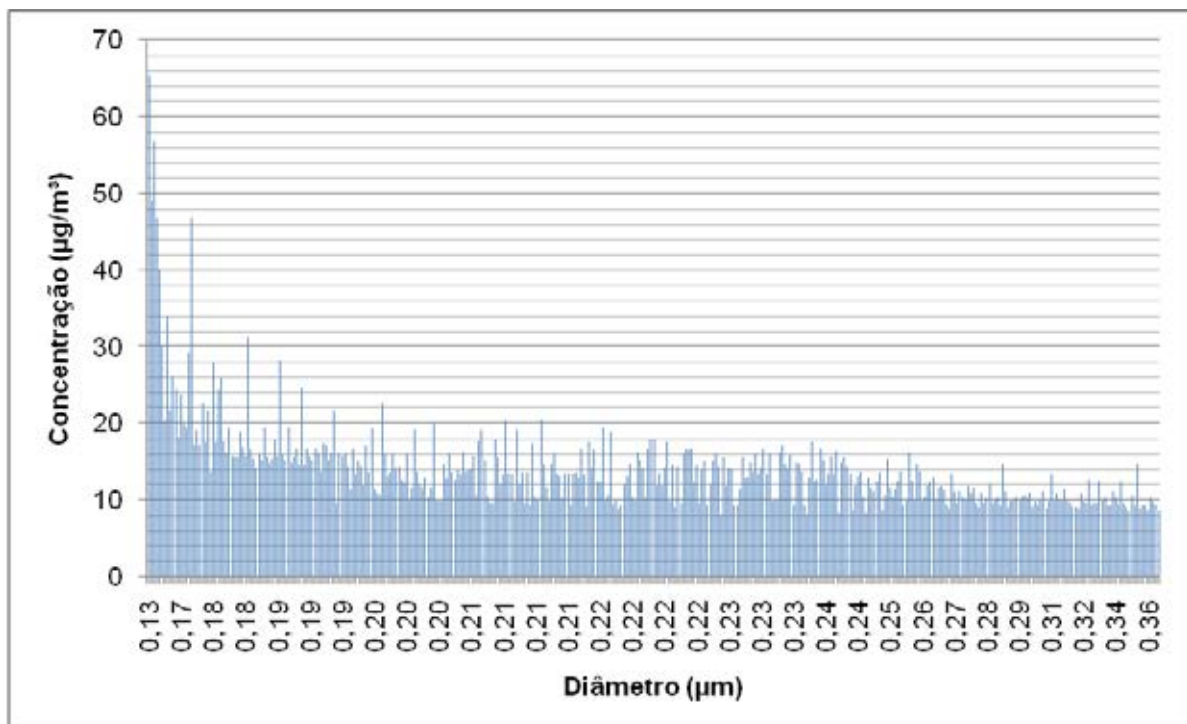


Figura 31 - Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 2 e seu diâmetro correspondente

A maior concentração foi registrada por partículas de menores diâmetros. Em geral, temos que para diâmetros de partículas entre 0,19 a 0,36 µm a

concentração permaneceu constante. A faixa de concentração para a biblioteca de São Carlos foi menor que a avaliada em Itapeva, para este piso.

5.2.3 Piso 3

No dia 02 de abril de 2012 o ambiente interno (piso 3) da biblioteca comunitária de São Carlos foi amostrado, entre 15:29 e 17:28 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 32.

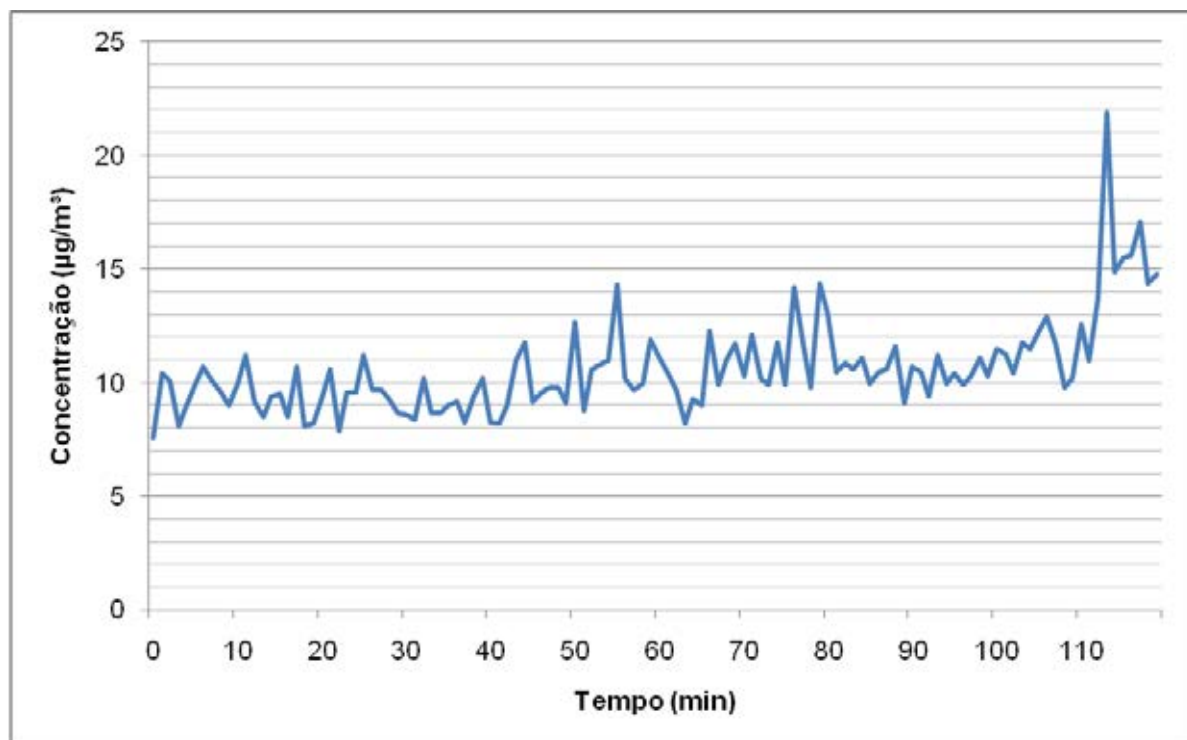


Figura 32 - Concentração de material particulado obtido no piso 3 da biblioteca comunitária da UFSCar

Na figura, temos que o pico de concentração ocorreu no final da tarde (término do período de aulas), considerando que a biblioteca fica aberta até as 22:00 horas, onde os alunos tendem a ir a biblioteca estudarem. É importante ressaltar que neste piso existem salas com fotocopiadoras (fontes de emissão de MP). A concentração máxima registrada foi de 21,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a média obtida neste piso foi de 10,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comparando a literatura de Nascimento (2008) onde em seu trabalho a concentração registrada de $\text{PM}_{2,5}$ no piso 3 da Biblioteca Comunitária da UFSCar foi de 12,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ temos que os valores são compatíveis em ambos estudos.

A figura 33 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

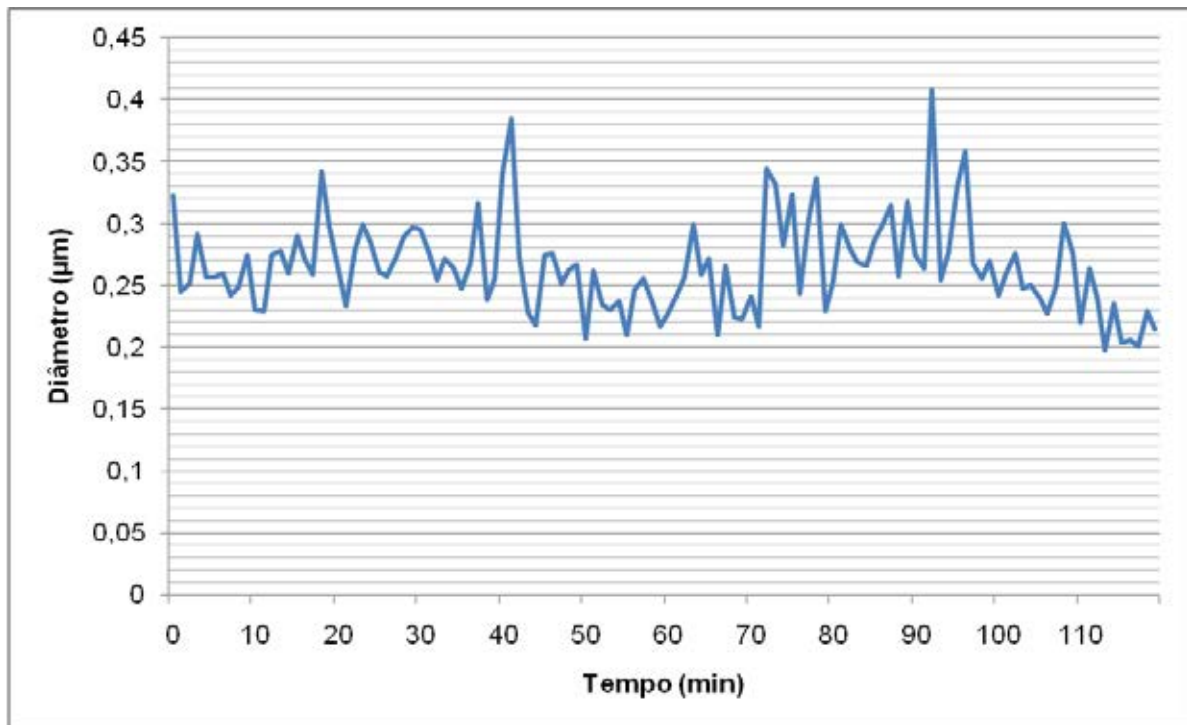


Figura 33 - Variação diametral do material particulado obtido no piso 3 da biblioteca comunitária da UFSCar

Os diâmetros de partículas se distribuem em maior frequência na faixa de 0,2 a 0,3 µm. O diâmetro máximo amostrado foi de 0,41 µm, mínimo de 0,20 µm, a média obtida foi de 0,27 µm. A média diametral encontrada no piso 3 é a mesma registrada no piso 1. Comparando ao valor obtido pela biblioteca municipal de Itapeva (0,24 µm) temos que ambos os dados se encontram na mesma faixa de valores.

A figura 34 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

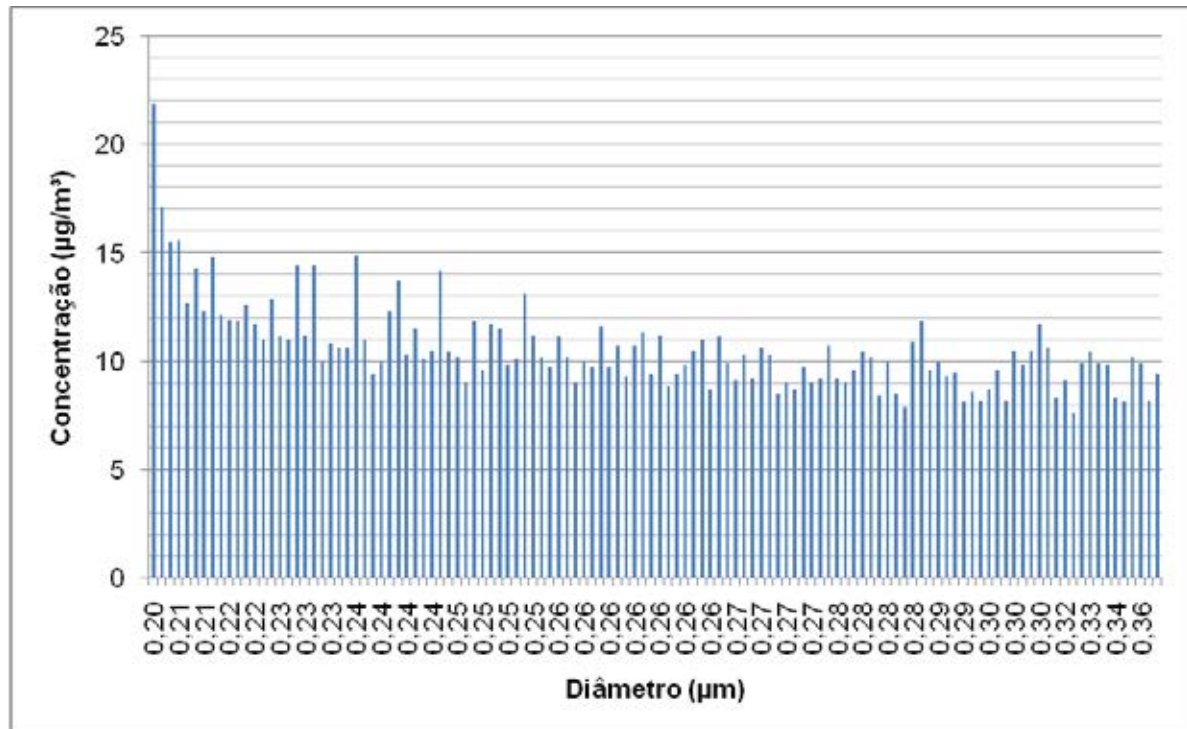


Figura 34 - Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 3 e seu diâmetro correspondente

A concentração das partículas permaneceu praticamente constante conforme o diâmetro resultante, exceto para partículas de diâmetro entre 0,20 a 0,21 µm onde apresentaram concentrações maiores. Este foi o piso que apresentou melhor qualidade do ar em relação aos demais ambientes e as demais bibliotecas amostradas neste trabalho.

5.2.4 Piso 4

No dia 02 de abril de 2012 o ambiente interno (piso 4) da biblioteca comunitária de São Carlos foi amostrado, entre 17:39 e 18:51 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 35.

A amostragem deste piso teve início no final da tarde, observamos pelo gráfico que há um pico inicial devido à maior circulação de pessoas como já discutido nos pisos anteriores. A concentração máxima obtida foi de 33,9 µg/m³ e média de 20,21 µg/m³. Ressaltando que este piso apresentou maior média em relação aos anteriores provavelmente por ser uma área destinada em sua maior parte à arquivos, livros mais antigos e dicionários (obras retiradas com menor frequência da biblioteca).

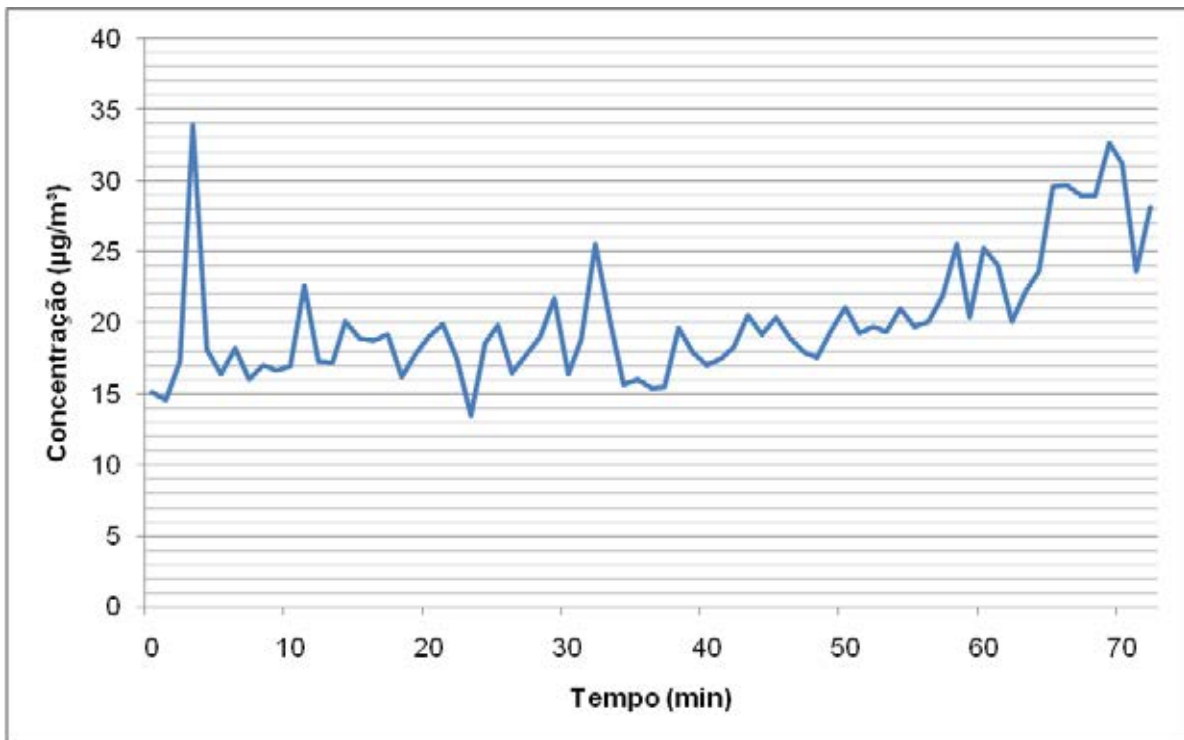


Figura 35 - Concentração de material particulado obtido no piso 4 da biblioteca comunitária da UFSCar

A figura 36 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

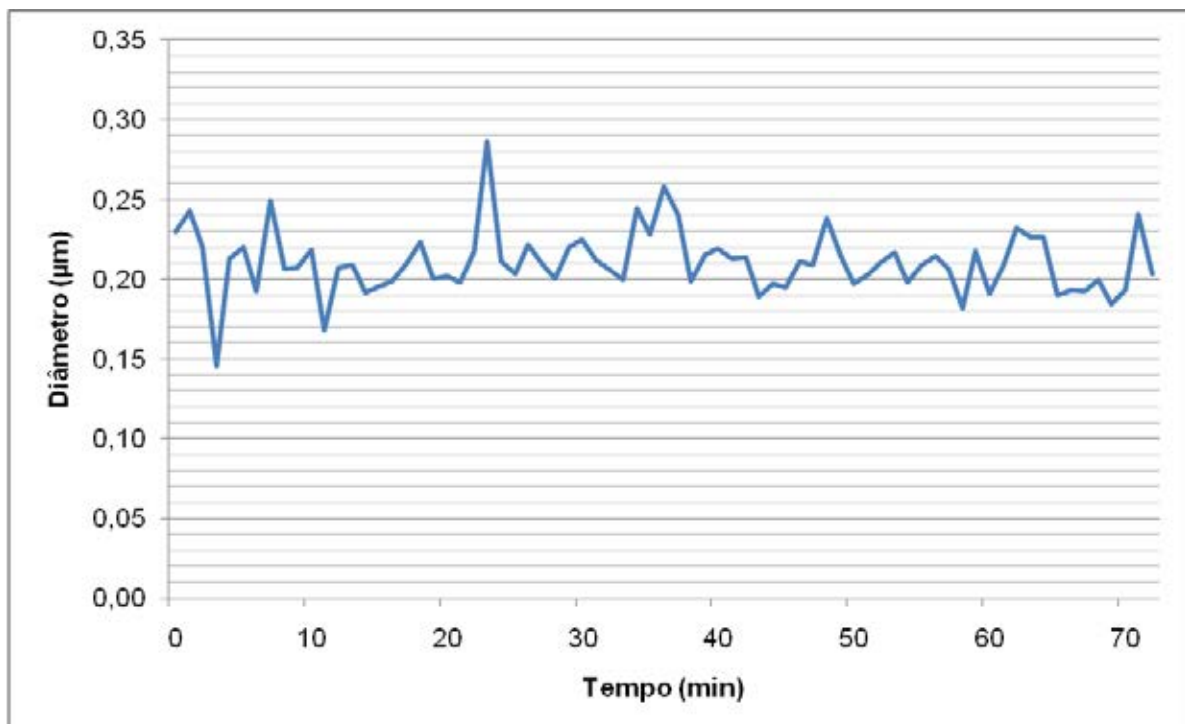


Figura 36 - Variação diametral do material particulado obtido no piso 4 da biblioteca comunitária da UFSCar

5.2.5 Piso 5

No dia 03 de abril de 2012 o ambiente interno (piso 5) da biblioteca comunitária de São Carlos foi amostrado, entre 09:30 e 11:55 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 38.

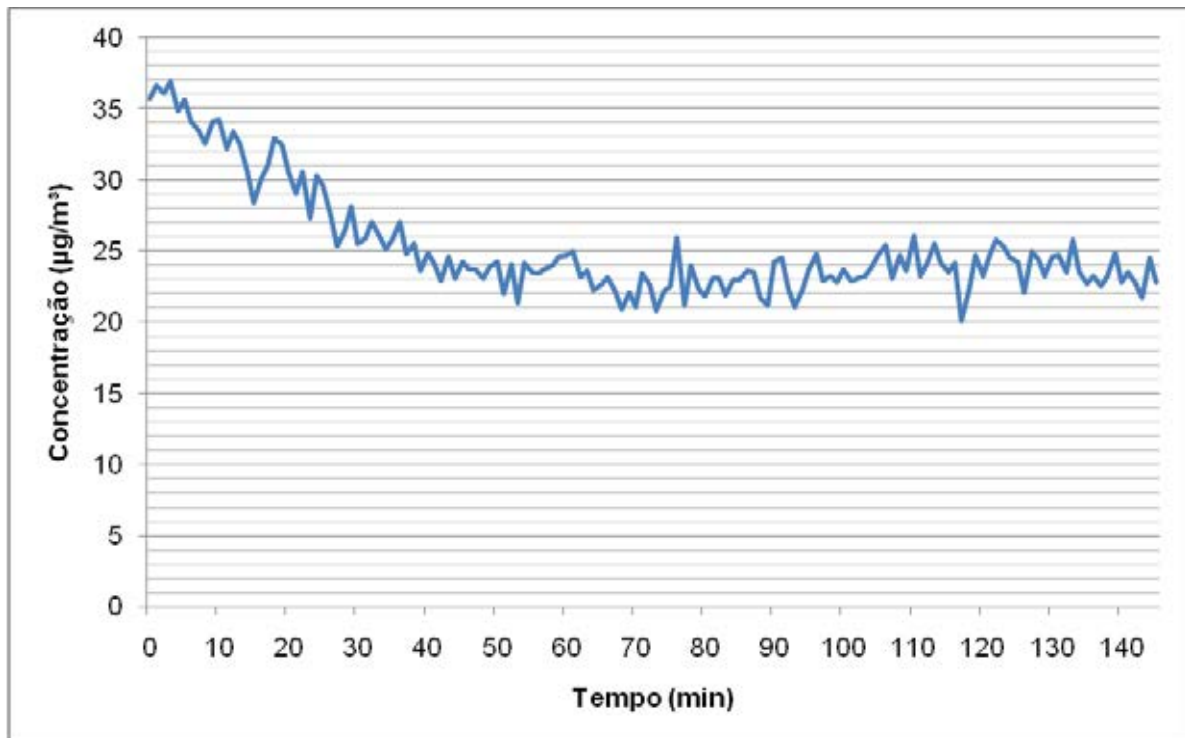


Figura 38 - Concentração de material particulado obtido no piso 5 da biblioteca comunitária da UFSCar

Os maiores valores de concentração foram registrados entre 9:30 às 10:00 horas da manhã. A maior frequência ocorreu na faixa de 20 a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A concentração máxima registrada foi de 36,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a média obtida de 25,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Percebemos que este piso ultrapassou o padrão de emissão da Organização Mundial da Saúde (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); sendo este piso composto exclusivamente por estantes de arquivos e documentos antigos seria um dos motivos de maior taxa de emissão de particulados.

Comparando com o trabalho de Nascimento (2008) temos que em seu experimento, a concentração média de $\text{PM}_{2,5}$ obtida no piso 5 da Biblioteca Comunitária da UFSCar era de 13,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, isso mostra uma discrepância entre os resultados. Devido à escassez de trabalhos e valores à comparar não há

argumentos sólidos a serem discutidos; fatores prováveis para tais diferenças nos valores podem estar relacionados ao dia da semana amostrado, horário, estação do ano, período de provas entre os alunos, limpeza, temperatura, umidade, entre outras variáveis pertinentes.

A figura 39 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

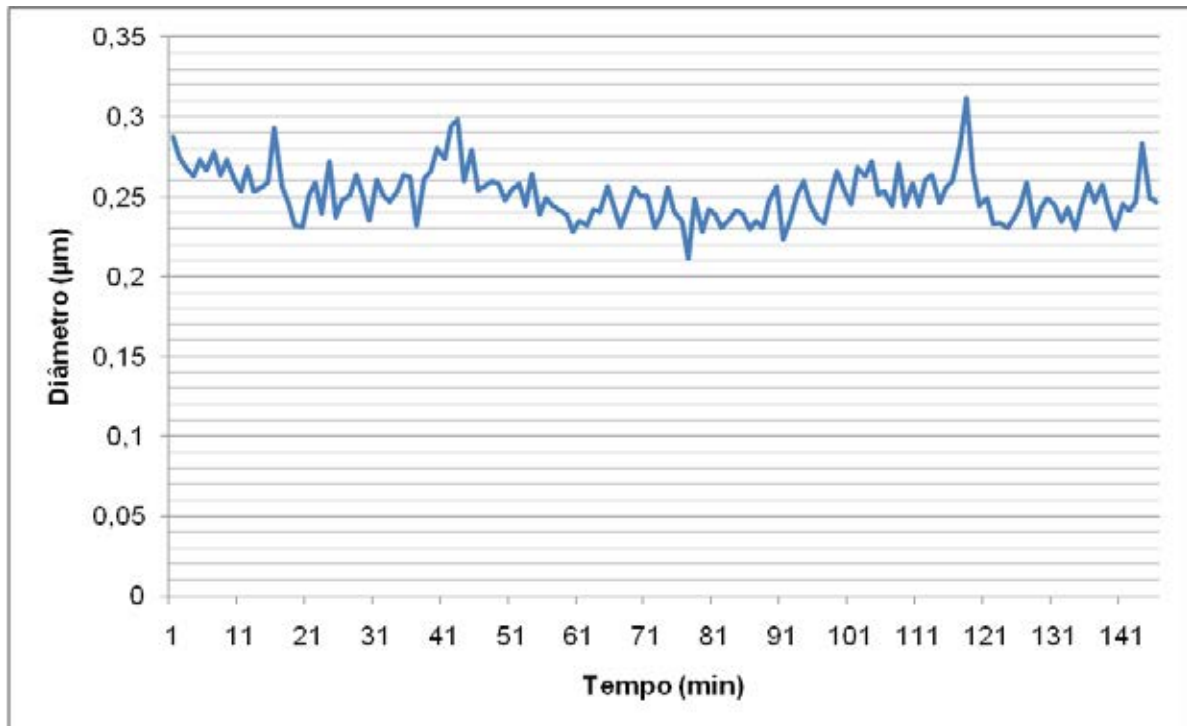


Figura 39 - Variação diametral do material particulado obtido no piso 5 da biblioteca comunitária da UFSCar

Os diâmetros de partículas se concentraram quase que totalmente na faixa de 0,2 a 0,3 μm . O diâmetro máximo coletado foi de 0,3 μm , mínimo de 0,21 μm , a média diametral foi de 0,25 μm . Comparando ao diâmetro médio obtido pela biblioteca municipal de Itapeva (0,24 μm) este piso apresentou comportamento semelhante. Ressaltando que, para esta faixa de tamanho de partícula (partículas ultrafinas), quando inaladas trazem danos prejudiciais aos ocupantes do ambiente. A figura 40 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

Em geral, a concentração permaneceu constante entre a faixa de diâmetro de partícula de 0,21 a 0,25 μm , acima desse valor o perfil de concentração

aumentou conforme aumento do diâmetro de partícula. Em 31% do tempo total de amostragem as medições ficaram acima do limite padrão permitido pela OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), este piso apresenta prioridade urgente de medidas corretivas para a diminuição destas concentrações, a fim de melhoria da qualidade do ar e bem estar entre usuários e funcionários.

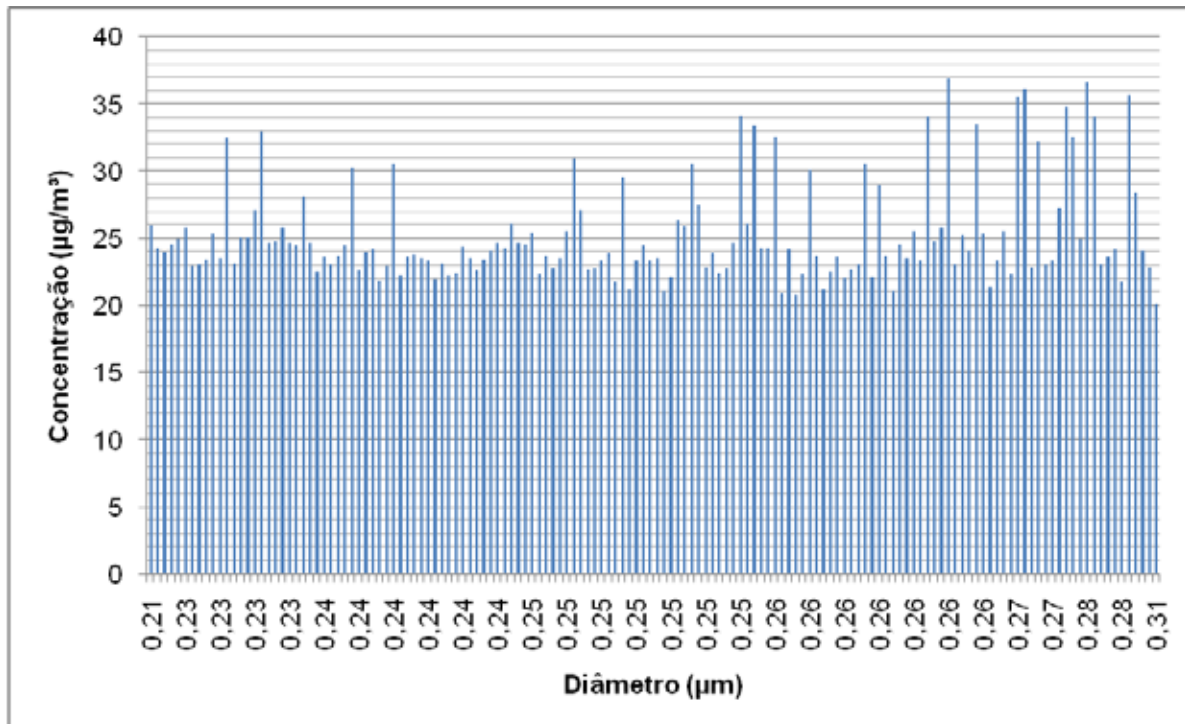


Figura 40 - Relação entre concentração de particulados emitidos no piso 5 e seu diâmetro correspondente

5.2.6 Ambiente Externo

No dia 31 de março de 2012 o ambiente externo da biblioteca comunitária de São Carlos foi amostrado, entre 13:34 e 15:00 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 41.

A medição no ambiente externo da biblioteca comunitária da UFSCar ocorreu em um sábado. A concentração máxima obtida foi de $28,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e média de $11,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na literatura de Nascimento (2008) a concentração média de material particulado $\text{PM}_{2,5}$ registrado no ambiente externo da Biblioteca Comunitária de São Carlos é de $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, assim como discutido no piso 5 (seção anterior) pouco pode-se discutir com um único valor a ser comparado. Ressaltando ainda que, neste

trabalho a amostragem ocorreu em um dia de semana onde há menor circulação de veículos e pessoas, variáveis como: clima, estação do ano, pessoas fumantes, número de veículos são essenciais para discussão das médias obtidas.

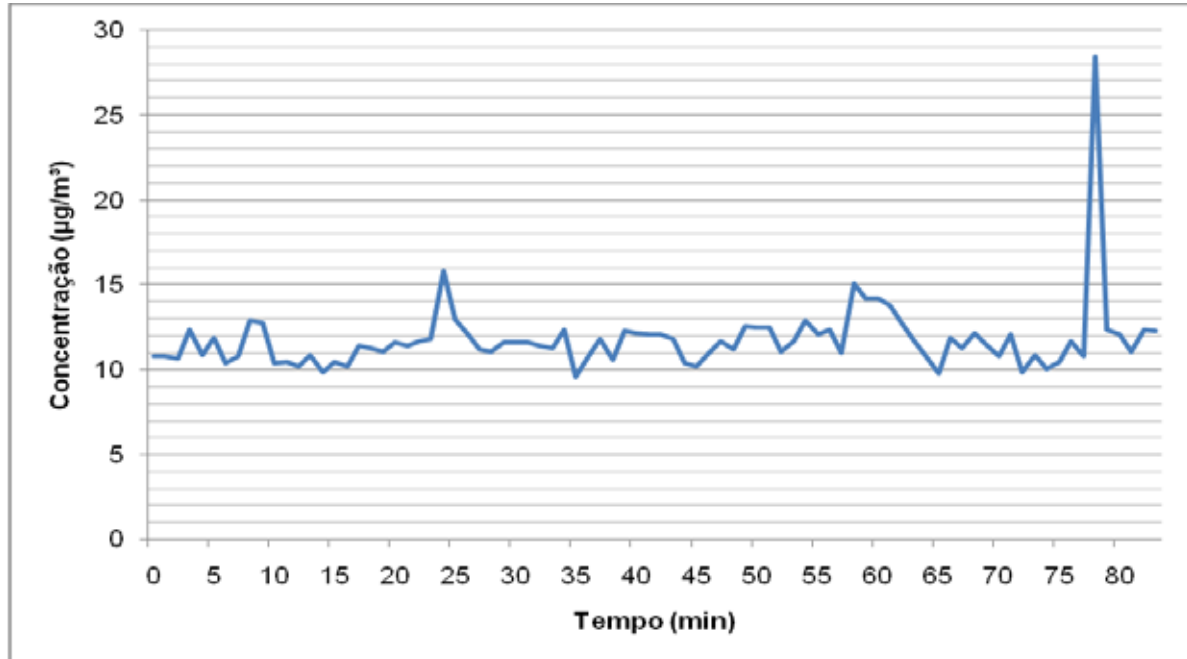


Figura 41 - Concentração de material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca comunitária da UFSCar

A figura 42 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

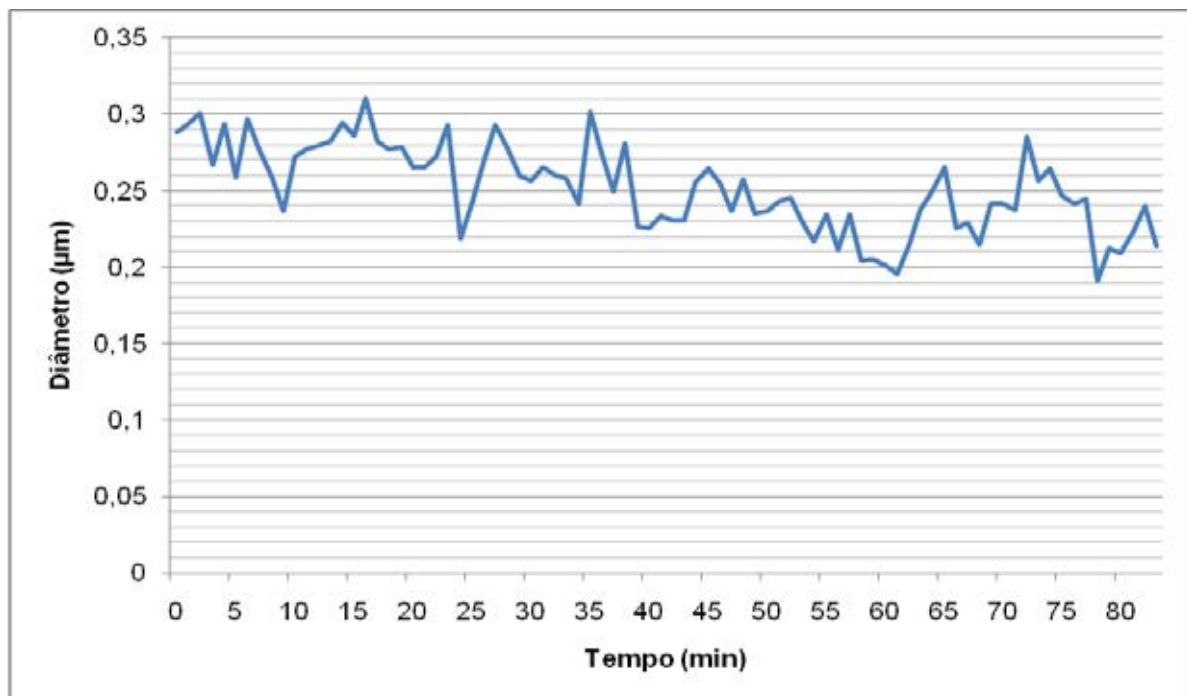


Figura 42 - Variação diametral do material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca comunitária da UFSCar

As maiores freqüências de diâmetros de partículas se concentraram na faixa de 0,2 a 0,3 μm . O diâmetro máximo registrado foi de 0,31 μm , mínimo de 0,19 μm e média obtida de 0,25 μm . Comparando ao ambiente externo amostrado na biblioteca municipal e biblioteca do campus Unesp em Itapeva, onde obtiveram as respectivas concentrações médias $\text{PM}_{2,5}$ de 0,21 e 0,27 μm , temos que o valor amostrado em São Carlos mostrou ter comportamento semelhante as demais instituições. As três bibliotecas estudadas neste trabalho apresentaram tamanho de partículas nocivas ao ser humano.

A figura 43 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

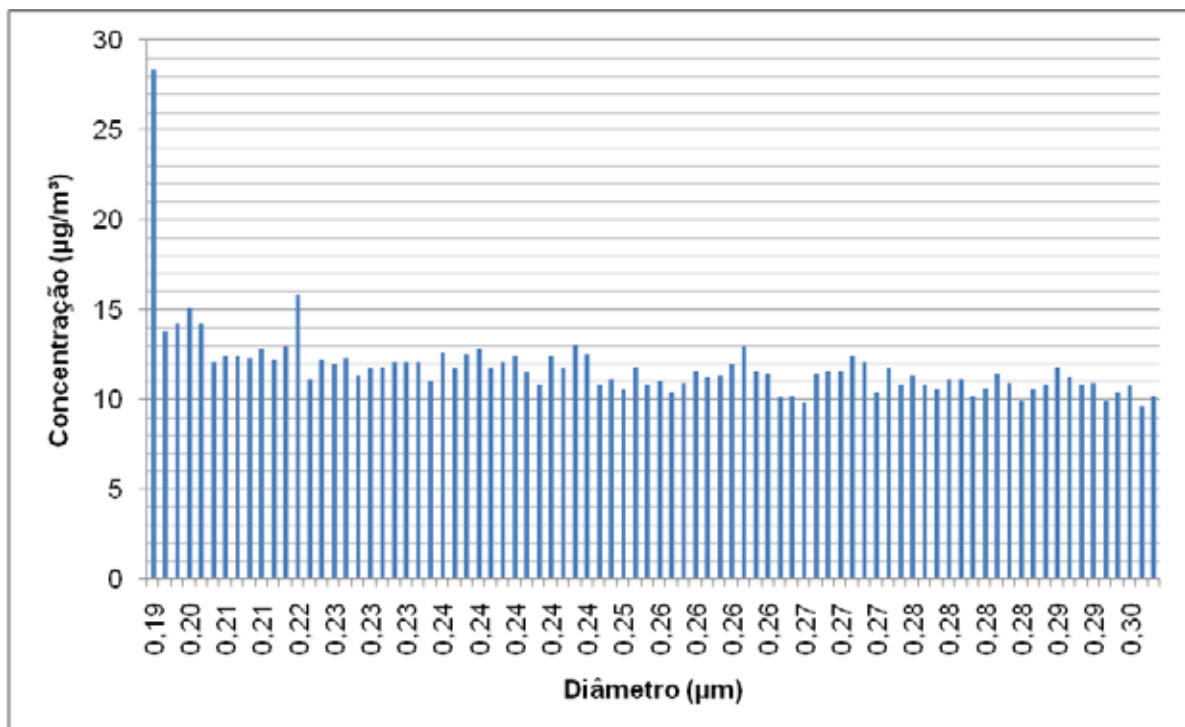


Figura 43 - Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente externo e seu diâmetro correspondente

A concentração se manteve constante durante todo o período de medição, exceto para diâmetro de partícula de 0,19 μm que apresentou maior concentração. Apenas 2% do tempo total de medição as partículas apresentaram concentrações fora do padrão da OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), comportamento quase que semelhante ao tempo total de amostragem no ambiente externo da Biblioteca da Unesp em Itapeva, onde os valores de concentração de particulados estão dentro dos limites da OMS.

De forma de melhor visualização dos resultados apresentados pela Biblioteca Comunitária da UFSCar, as figuras 44 e 45 representam os valores de concentração e diâmetro de partículas provenientes de cada ambiente amostrado da biblioteca.

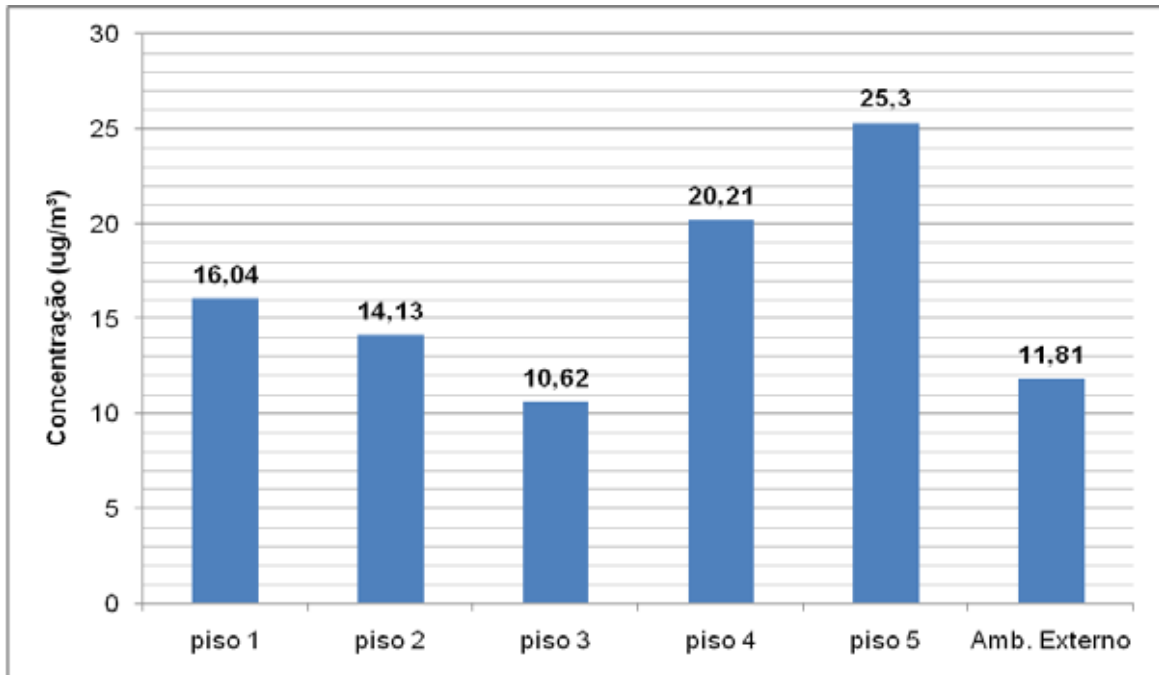


Figura 44 – Comparação entre as concentrações de particulados emitidos para cada ambiente amostrada da Biblioteca Comunitária da UFSCar

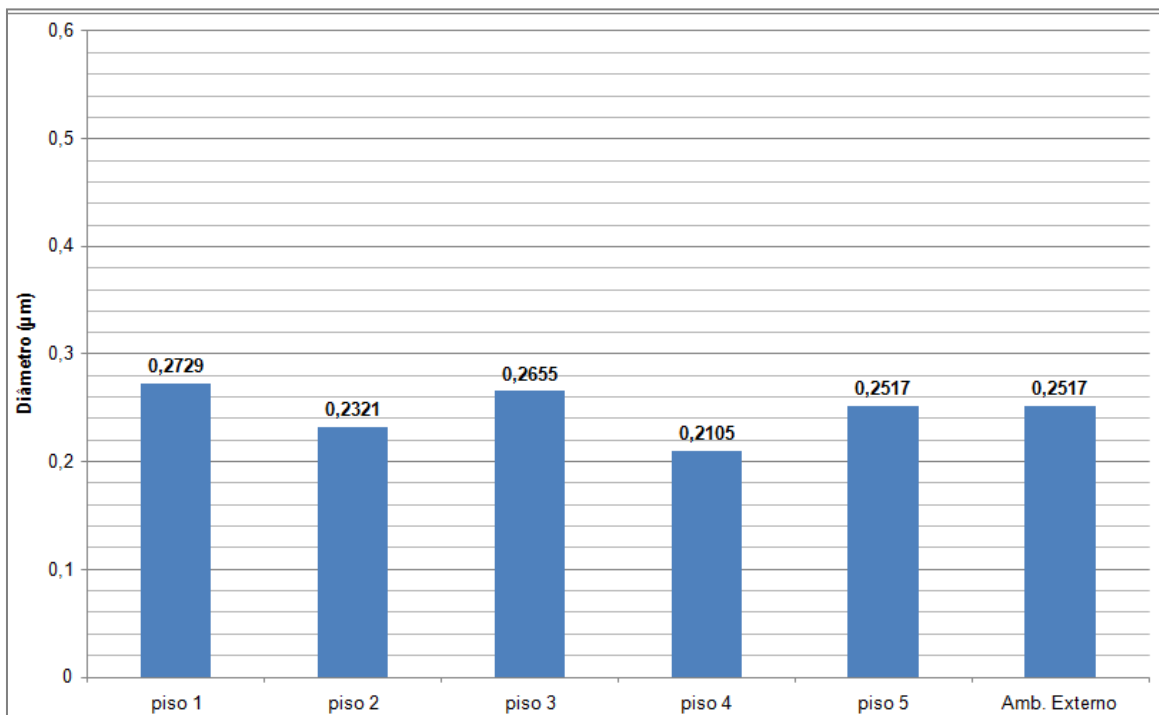


Figura 45 – Comparação entre as médias diametrais de particulados emitidos para cada ambiente amostrada da Biblioteca Comunitária da UFSCar

Finalizando as discussões sobre a Biblioteca Comunitária da UFSCar temos que, são poucos os trabalhos existentes nesta área de pesquisa, as comparações neste estudo se basearam na literatura de Nascimento (2008) em que analisou os pisos 1, 3, 5 e ambiente externo da referida biblioteca. Ito (2007) analisou a qualidade do ar nos cinco pisos e ambiente externo da biblioteca da UFSCar, porém seus dados de concentração se baseiam na média anual de emissão de particulados. Vale ressaltar que pela OMS a média anual de emissão de $PM_{2,5}$ é de $10 \mu g/m^3$, temos então que os valores amostrados por Ito (2007) estão acima destes limites, é necessário uma política para melhoria da qualidade do ar neste ambiente, a fim de que a instituição se adeque aos padrões da OMS e forneça bem estar aos ocupantes.

No estudo de Nascimento (2008) não foram atendidas as normas as quais estabelecem número mínimo de amostras dependendo da área construída, em seu trabalho foram realizadas medições em apenas 3 pisos da Biblioteca Comunitária da UFSCar, Nascimento coletou apenas 4 amostras (3 no ambiente interno e 1 no externo), o correto e padronizado a qual foi atendido neste trabalho foi a medição em no mínimo 8 pontos do ambiente interno (considerando área Biblioteca Comunitária UFSCar). Outro fator importante a ser considerado é o fato que o DataRam 4 coleta amostras e fornece os dados em tempo real, diferentemente do equipamento utilizado por Nascimento que não possui esta característica.

5.3 Biblioteca do Campus Unesp em Itapeva

A biblioteca da Unesp em Itapeva encontra-se em um terreno de superfície mais elevada em relação ao município, a biblioteca é cercada por árvores e encontra-se ao lado do estacionamento do campus, onde há intensa movimentação de carros. No interior da biblioteca há cerca de 10 computadores, fontes de emissão de material particulado.

5.3.1 Ambiente Interno

No dia 10 de maio de 2012 o ambiente interno da biblioteca da Unesp em Itapeva foi amostrado, entre 15:43 e 17:55 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 46.

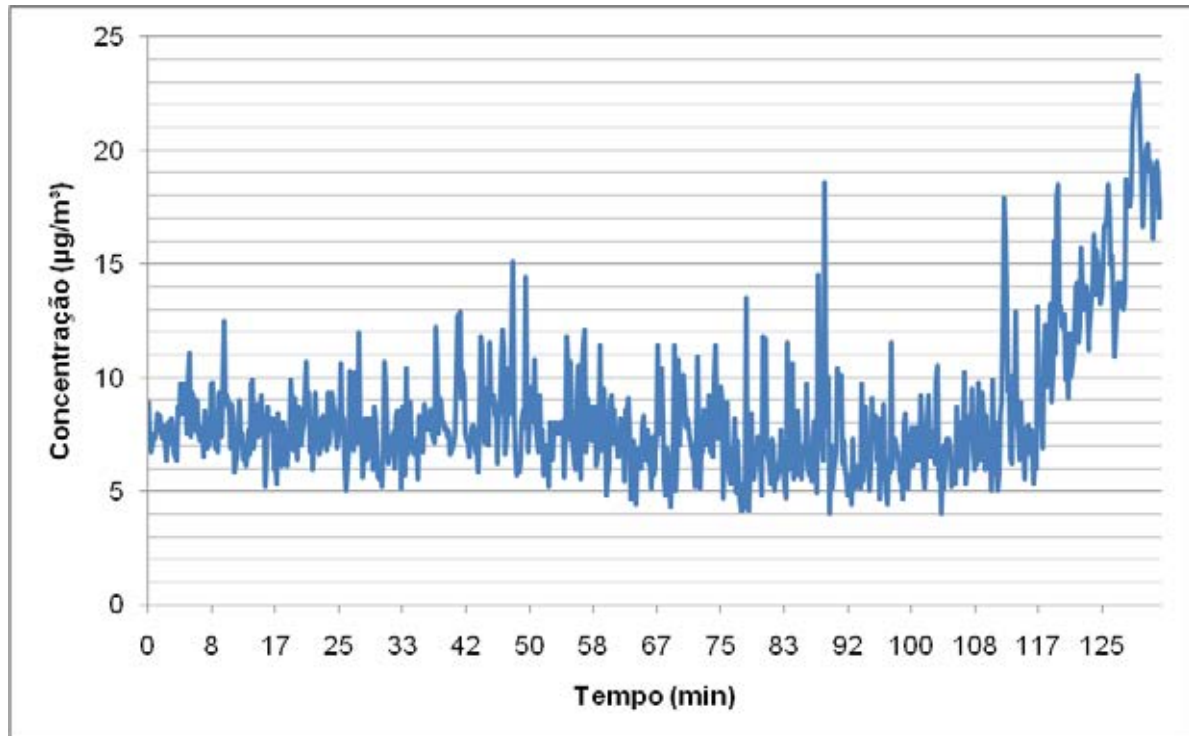


Figura 46 - Concentração de material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca da Unesp em Itapeva

Pela figura temos que os maiores valores de concentração ocorreram no final da tarde (minutos antes do fechamento da biblioteca), onde há maior movimentação de alunos em relação à arrumação de material para saída da biblioteca. Em 78% do tempo de amostragem as partículas se concentraram na faixa de 5 a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor máximo registrado de concentração de particulado foi de 23,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e média de 8,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Temos que nesta biblioteca os dados amostrados estão de acordo com o padrão OMS, de média diária de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para concentrações $\text{PM}_{2,5}$.

Comparando com o resultado obtido pela biblioteca municipal de Itapeva (24,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), temos que os valores se assemelham, fatores como número de usuários que freqüentam a biblioteca por dia, espaço físico e limpeza são variáveis em comum encontrada em ambas as instituições. Comparando com os valores de concentração registrados pela Biblioteca Comunitária da UFSCar temos que o valor registrado pela biblioteca da Unesp em Itapeva se encontra mais próximo ao obtido pelo piso 4 (20,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), este piso é composto por estantes de revistas, dicionários, mesas para estudo.

A figura 47 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

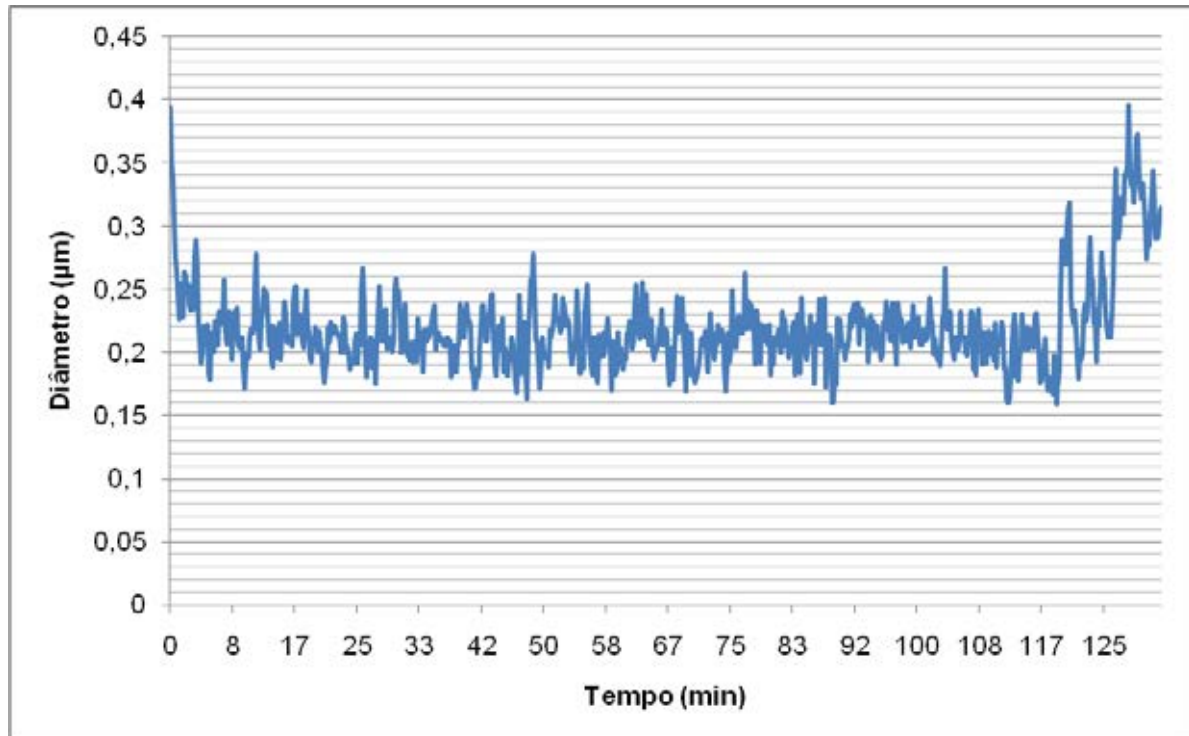


Figura 47 - Variação diametral do material particulado obtido no ambiente interno da biblioteca da Unesp em Itapeva

O diâmetro das partículas teve maior frequência na faixa diametral de 0,15 a 0,25 μm . O diâmetro máximo coletado foi de 0,40 μm , mínimo de 0,16 μm e média de 0,22 μm . Como já dito anteriormente, o valor de concentração da biblioteca Unesp em Itapeva se assemelhou ao valor obtido no piso 4 da Biblioteca Comunitária da UFSCar, bem como os diâmetros médios de ambas as instituições apresentaram valores bem próximos, piso 4 UFSCar (0,21 μm), ou seja, tanto dados de concentração como tamanho de partícula se correlacionam em ambos ambientes amostrados.

A figura 48 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

O maior pico de concentração ocorre para partículas de maiores diâmetros, apesar de que houve algumas variações durante o tempo total de amostragem. Temos que, os tamanhos de partículas presentes neste ambiente apresentam valores na faixa de partículas ultrafinas, o diâmetro máximo coletado (0,4 μm) tem a capacidade de penetração e retenção pelos brônquios, podendo ser ou não expectoradas.

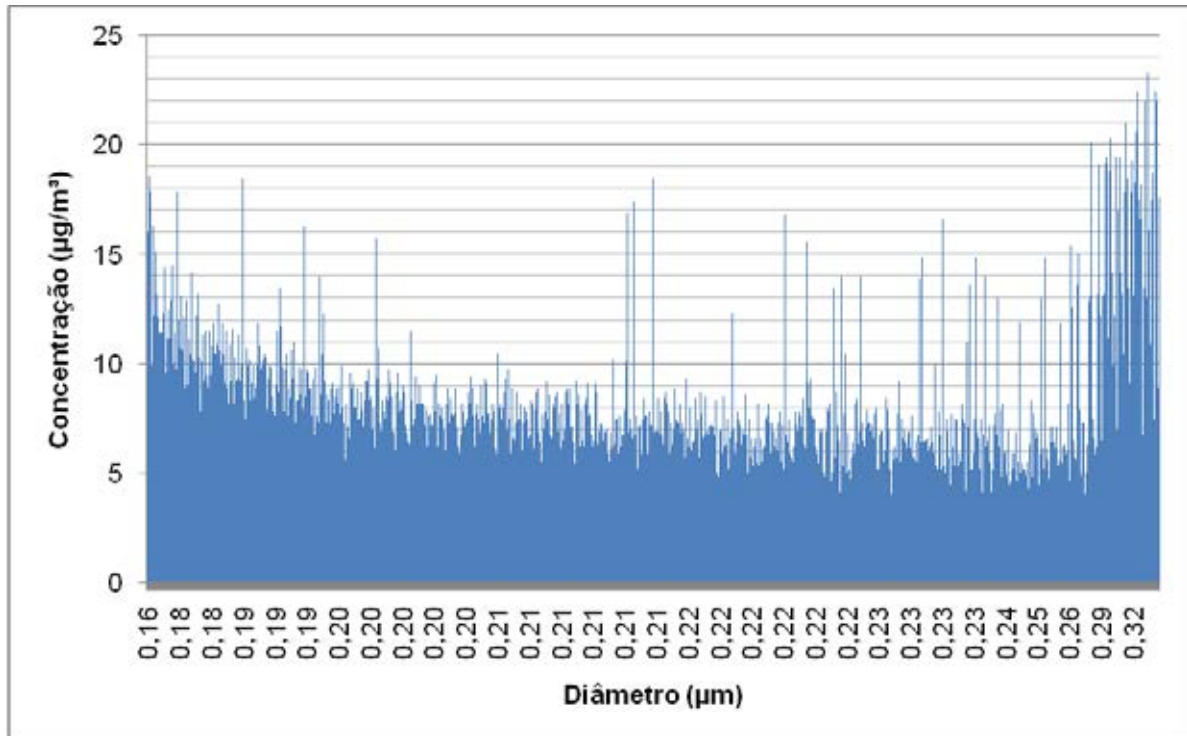


Figura 48 - Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente interno da biblioteca Unesp e seu diâmetro correspondente

5.3.2 Ambiente externo

No dia 11 de maio de 2012 o ambiente externo da biblioteca da Unesp em Itapeva foi amostrado, entre 16:04 e 17:10 horas. Os resultados de concentração de particulados pelo tempo total amostrado são expressos na figura 49.

A maior concentração registrada de $24,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ocorreu as 16:16 horas, provavelmente pelo fato de maior locomoção dos veículos devido ao término da primeira aula da tarde. A média obtida de concentração de particulados foi de $9,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Os valores obtidos no ambiente externo foram excelentes, uma vez que a maior concentração está dentro dos limites de emissão impostos pela OMS.

Comparando ao resultado de concentração média $\text{PM}_{2,5}$ registrado pelo ambiente externo da biblioteca municipal de Itapeva ($15,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$) temos que o valor obtido no ambiente externo da biblioteca da Unesp está bem abaixo, fatores como localização (nível mais elevado), menor tráfego veicular comparado a biblioteca municipal, arborização adequado do ambiente, são alguns fatores que contribuem para menores emissões de particulados.

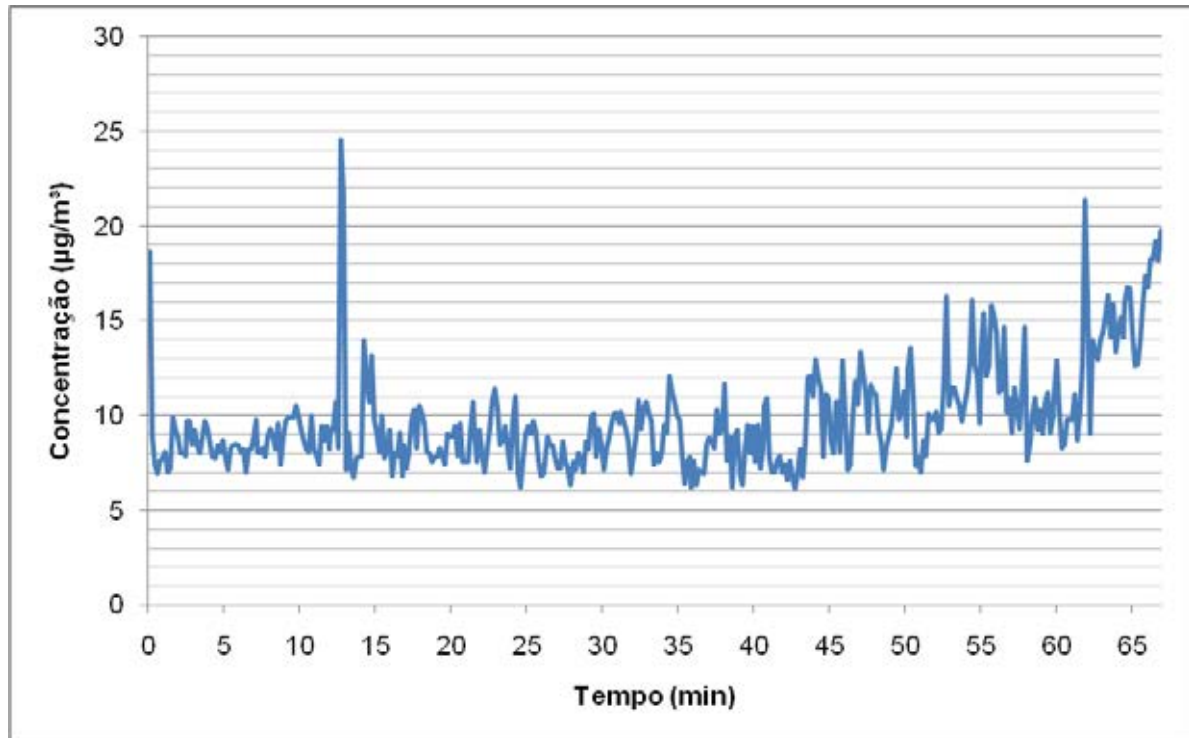


Figura 49 - Concentração de material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca da Unesp em Itapeva

A figura 50 mostra a variação do diâmetro das partículas no intervalo de tempo amostrado.

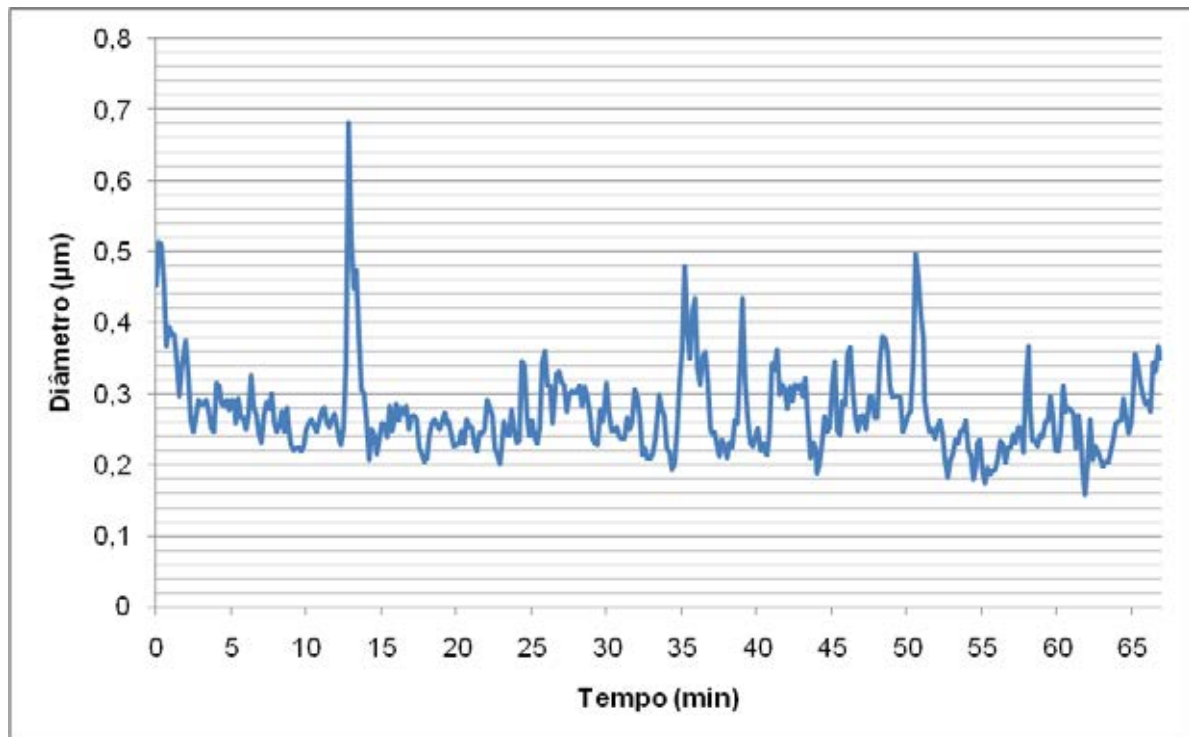


Figura 50 - Variação diametral do material particulado obtido no ambiente externo da biblioteca da Unesp em Itapeva

A maior freqüência de diâmetros de partículas concentrou-se na faixa de 0,2 a 0,4 μm . O diâmetro máximo amostrado foi de 0,68 μm , mínimo de 0,16 μm e média de 0,27 μm . Comparando ao resultado diametral registrado pela biblioteca municipal de Itapeva, onde o diâmetro mínimo foi de 0,09 μm (valor este onde tem grande probabilidade de penetração profunda nos pulmões e danos irreversíveis ao sistema respiratório humano), os efeitos danosos causados pela inalação de partículas no ambiente externo da biblioteca da Unesp apresentam menores riscos comparados a biblioteca municipal, pois os tamanhos de partículas amostradas neste ambiente tem a possibilidade de serem expectoradas após inalação.

A figura 51 mostra a variação da concentração de particulados emitidos pelo diâmetro correspondente.

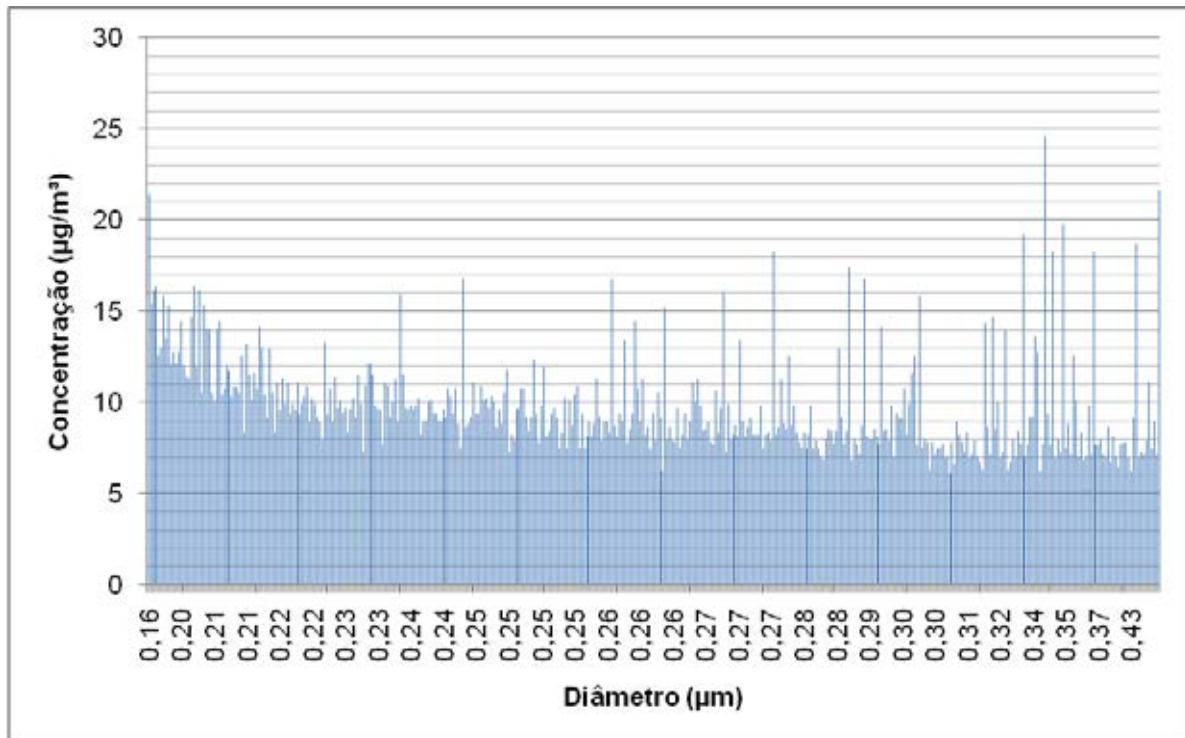


Figura 51 - Relação entre concentração de particulados emitidos no ambiente externo da biblioteca Unesp e seu diâmetro correspondente

No geral, as partículas apresentaram concentração constante conforme o diâmetro correspondente, para faixa diametral de 0,31 a 0,43 μm as concentrações foram maiores. Finalizando as discussões a respeito da concentração de particulados em relação ao seu respectivo diâmetro, temos que os gráficos apresentados neste trabalho (Concentração x Diâmetro) apresentam poucas bases e fundamentos para comparações, já que na literatura sobre estudo da qualidade do

ar em bibliotecas encontramos dados somente relacionados a concentração de partículas pelo tempo.

5.4 Comparação entre as bibliotecas

Após discussão dos resultados dos ambientes internos e externos das bibliotecas amostradas, segue abaixo comparações entre as bibliotecas em seus diferentes ambientes. A figura 52 compara os resultados de concentração de particulados das três bibliotecas em seu ambiente interno.

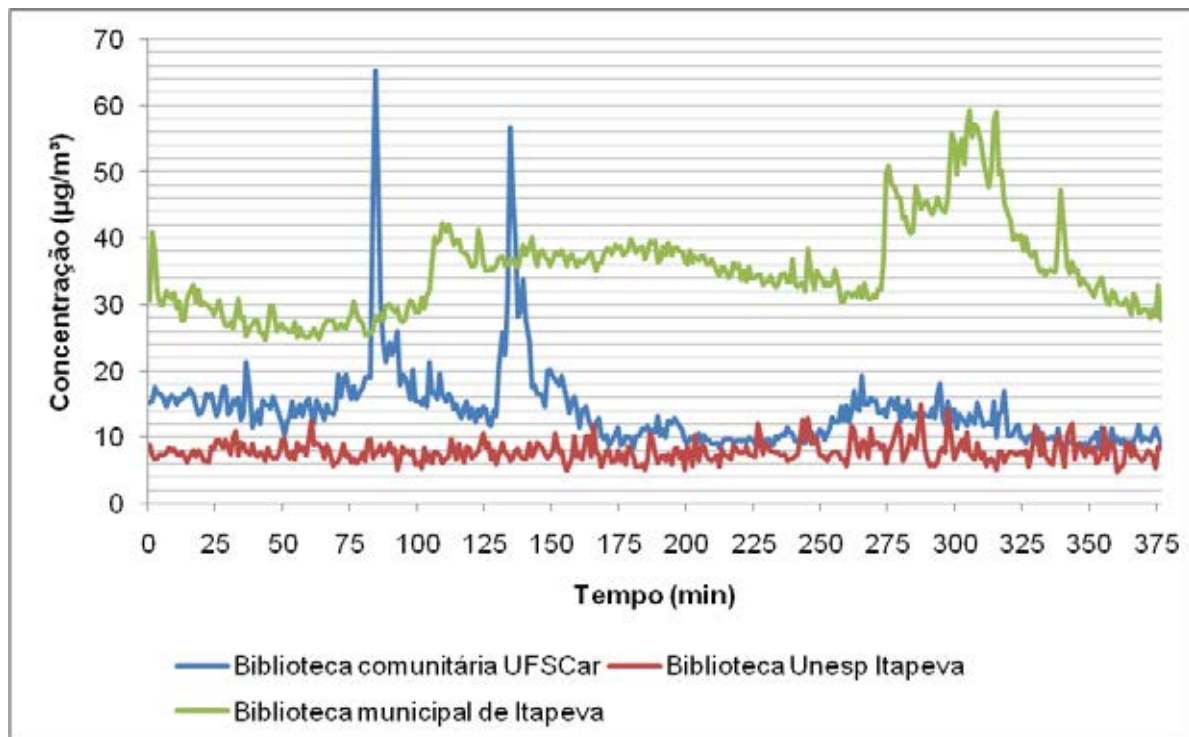


Figura 52 - Comparação da concentração de material particulado obtido no ambiente interno das diferentes bibliotecas amostradas

A biblioteca comunitária da UFSCar apresentou comportamento semelhante a da Unesp exceto para picos de concentração onde correspondem ao intervalo dos alunos e à visita ocorrida por crianças na biblioteca conforme já discutido anteriormente. A biblioteca da UFSCar têm como principal fator externo de emissão de particulados o constante tráfego de veículos pela avenida principal situado frente a biblioteca.

Os valores mais discrepantes foram amostrados pela biblioteca municipal de Itapeva, fatores como: livros antigos, peças do museu e arquivo de memória

histórica (documentos antigos arquivados) são os principais fatores de maior concentração de particulados emitidos no interior da biblioteca, além da interferência de variáveis externas, como tráfego veicular muito próximo e constante. Como já discutido a média de concentração de particulados obtido nessa biblioteca apresentou valor muito próximo ao limite de emissão proposto pela OMS de $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$.

A figura 53 compara os resultados de concentração de particulados das três bibliotecas em seu ambiente externo.

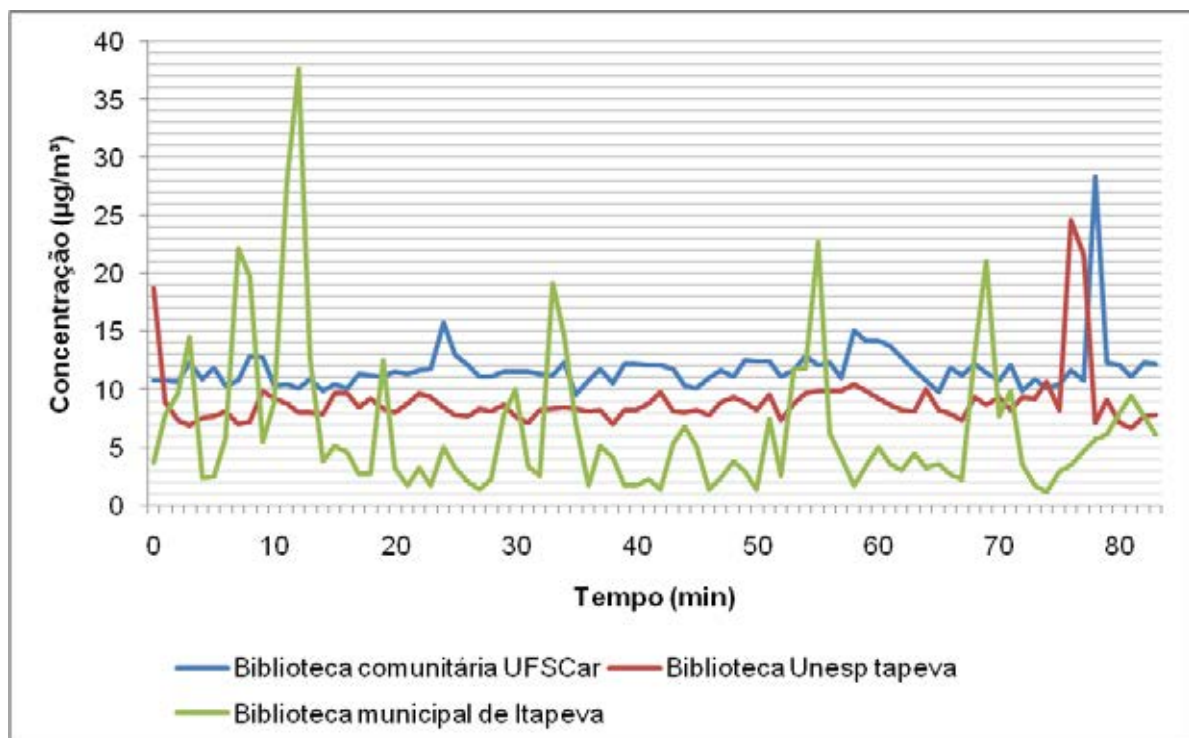


Figura 53 - Comparação da concentração de material particulado obtido no ambiente externo das diferentes bibliotecas amostradas

Observando a figura temos que a biblioteca comunitária da UFSCar e a biblioteca do campus Unesp de Itapeva apresentaram comportamento semelhante, como já discutido ambas as bibliotecas possuem arborização adequada ao seu redor. A biblioteca municipal de Itapeva apresentou constantes picos de concentração de particulados, uma das razões principais é a localização da biblioteca, esta se situa ao lado de duas rodoviárias e cercada por ruas movimentadas, em suma a biblioteca municipal apresenta 24 horas de intenso

movimento veicular, responsável por grande parte de poluentes emitidos à atmosfera.

5.5 Propostas de melhorias

Primeiramente vale ressaltar que a Biblioteca Comunitária da UFSCar foi escolhida para realização das medições pelo fato de ser uma instituição onde já apresenta estudos na literatura, desta forma comparações poderiam ser realizadas. Uma melhoria sugerida para tal biblioteca é em relação ao piso 5, onde os documentos mais antigos que ali são armazenados poderiam estar condicionados em pequenos ambientes de vidros climatizados adequadamente para este acervo.

Temos que a biblioteca municipal de Itapeva está estabelecida em uma área onde antigamente seria destinada à estação ferroviária, ou seja, a instituição não foi planejada para tal finalidade. Deve haver um plano diretor para planejamento e funcionamento de uma biblioteca. Soluções para melhorias da qualidade do ar neste ambiente já que está estabelecido e consolidado na cidade seriam em alguns quesitos tais como: ventilação adequada, proposta de uso de refrigeração interna, condições de temperatura e umidade relativa a qual encontramos na literatura sendo respeitados, higienização adequada dos livros, utilização de livros mais novos, acervo mais antigo protegido por um ambiente envolto por vidros a qual somente pessoas específicas teriam acesso para retirada de tais documentos.

As normas as quais me baseie neste estudo sugerem determinados padrões de emissões de particulados, a última resolução nacional sobre padrão de qualidade do ar é datada de 1990. Órgãos como a CETESB e a OMS devem rever se estes padrões realmente estão proporcionando segurança e saúde à população que está exposta diariamente a inalação destes poluentes atmosféricos. Inicialmente creio que um levantamento de dados referentes a doenças respiratórias e cardíacas deve ser realizado a fim de uma correlação entre tais pacientes, histórico e causas da doença, cidade onde moram e nível de concentração de partículas a que estão submetidos, com isso deve haver a verificação se a concentração de partículas consideradas dentro do limite diário de emissão realmente não traz riscos danosos a saúde humana.

6. CONCLUSÃO

Com este trabalho avaliou-se a qualidade do ar em ambientes internos e externos das bibliotecas, ressaltando que para faixa de diâmetro menor que $2,5 \mu\text{m}$ há poucos estudos encontrados na literatura para amostragem em tempo real. As seguintes instituições foram estudadas: Biblioteca Pública Municipal Prof^a Josina Vasques Ferrari, Biblioteca Comunitária da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Biblioteca do Campus Unesp em Itapeva, com o propósito de quantificar as concentrações de material particulado nos ambientes, a partir disto conclui-se que:

- As maiores fontes emissoras de particulados são provenientes de variáveis externas ou encontradas em ambientes internos onde há armazenamento de arquivos e livros mais antigos.
- A biblioteca municipal de Itapeva está no limite de concentração de particulados segundo o recomendado pela OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), apresentando valor médio de $24,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em seu ambiente interno. Para externo a concentração média foi de $15,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A média dos diâmetros de partículas apresentou pouca variação entre os ambientes, sendo esses: $0,24 \mu\text{m}$ no interno e $0,21 \mu\text{m}$ para externo.
- A concentração de particulados em ambiente externo foi maior na biblioteca municipal de Itapeva devido a presença de rodoviárias ao lado da biblioteca e intenso tráfego veicular.
- O piso 5 da biblioteca comunitária da UFSCar ultrapassou o limite de emissão imposto pela OMS.
- Claramente o fluxo de pessoas interfere na concentração, de modo geral quanto maior a quantidade de pessoas transitando pelo ambiente maior são os valores de concentração de MP registrados. Isto se deve a ressuspensão da poeira do piso, o transporte de poeira do sapato, atrito entre tecidos das roupas, entre outros fatores pertinentes ao caso.
- Em ambientes cujos usuários sejam crianças (os mais suscetíveis aos efeitos danosos da poluição por particulados), a limpeza e higienização é necessária, o controle da circulação e renovação de ar limpo é evidente.

- A biblioteca da Unesp em Itapeva apresentou os melhores padrões de emissão de particulados, uma série de fatores implica nesse resultado tais como: localização, livros mais novos comparados as outras bibliotecas, menor número de variáveis externas de emissão de particulados em relação as demais bibliotecas amostradas, menor número de usuários.
- A biblioteca da Unesp de Itapeva apresentou mínima variação entre valores máximos e médios de concentração de particulados nos ambientes internos e externos, sendo esses respectivamente: 23,3 e 24,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8,47 e 9,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Em relação ao diâmetro da partícula, os valores máximos e a média diametral para ambiente interno e externo foram respectivamente: 0,40 e 0,68 μm , 0,22 e 0,27 μm .
- Em todas as bibliotecas amostradas as partículas se encontram na faixa de diâmetro menor que 0,4 μm .

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBEX, M. A.. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória sobre a população de Araraquara - SP.** 2001. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; ALMEIDA, L. A. A.. **Queima de Biomassa e Efeitos sobre a Saúde.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, São Paulo, 12 fev. 2004. p. 1-18.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. Disponível em: <<http://www.ashrae.org/>>. Acesso em 25 mar. 2012.

ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES DA AMÉRICA DO SUL - AFEEVAS (Brasil) (Org.). **Novos Padrões de Qualidade do Ar Aprovados em 25/05/2011 pelo CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente) para o Estado de São Paulo.** Disponível em: <http://www.afeevas.org.br/exibe_noticia.php?news=48>. Acesso em: 27 jan. 2012.

BRANDL, J. M. A. H.. **Bioaerosols in Indoor Environment - A Review with Special Reference to Residential and Occupational Locations.** The Open Environmental & Biological Monitoring Journal, Switzerland, v. 4, p. 83-96, 2011.

BOLOURCHI, H.. **Pay Attention to Books' Deadly Dust: Relationship of Lung Cancer and Heart Attack to Library Books' Dust.** Birmingham: Us Library Of Congress, 2003. 12 p.

BRUCE, N.; PEREZ-PADILLA, R.; ALBALAK, R.. **Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge.** Bulletin of the World Health Organization, p. 1078-1092, 2000.

CAMPOS, M. L. F.; SANTOS, J. P.. **Política de preservação de documentos em bibliotecas públicas estaduais brasileiras.** Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10713/000598945.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 26 abr. 2012.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A.. **Qualidade do Ar Interno.** São Paulo: Epusp, 1999. 36 p.

CARVALHO, J. A.; LACAVAL, P. T.. **Emissões em processos de combustão.** São Paulo: Unesp, p. 21 – 52. 2003.

CASSARES, N. C.. **Como fazer conservação preventiva em arquivos e bibliotecas.** São Paulo: Arquivo do Estado e Imprensa Oficial, 2000. 70 p.

CHAO, C. Y.; WONG, K. K.; CHENG, E. C.. **Size Distribution of Indoor Particulate Matter in 60 Homes in Hong Kong**. Indoor and Built Environment, Hong Kong, v. 11, p. 18-26, July 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. Disponível em:
< <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios> >. Acesso em: 27 jan. 2012.

CLEAN ENVIRONMENT BRASIL, Produtos e Tecnologias para o Meio Ambiente. Manual de Instruções. DataRam4 – Modelo DR-4000.

CONPET - CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PETRÓLEO LTDA (Brasil). **A saúde da população e a poluição atmosférica**. São Paulo, 2006. 28 p.

COSTA, M. A. M.. **Controle Ambiental Aplicado à Indústria**. Notas de aula Engenharia Ambiental. Unesp, Itapeva, 2011.

COSTA, M. F.. **Noções Básicas de Conservação Preventiva de Documentos**. Centro de Informação Científica e Tecnológica. Biblioteca de Manguinhos, Laboratório de Conservação Preventiva de Documentos, FIOCRUZ, 2003.

DELIBERAÇÃO CONSEMA 19/2011 de 25/05/11, 283ª Reunião Ordinária do Plenário do CONSEMA. Aprova relatório de GT sobre revisão dos padrões da qualidade do ar. Disponível em:
<<http://www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/deliberacoes/2011/DEL19.pdf>>. Acesso em 25 jan. 2012.

DIAPOULI, E.; CHALOULAKOU, A.; SPYRELLIS, N.. **Indoor and Outdoor Particulate Matter Concentrations at Schools in the Athens Area**. Indoor and Built Environment, Greece, v. 16, n. 1, p. 55-61, July 2006.

DIAS, R. R.. **Avaliação experimental de um lavador Venturi como coletor de material particulado emitido pela queima de biomassa florestal**. 2008. 85 f. Trabalho de Conclusão (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2008.

DONGARRÀ G.; MANNO E.; VARRICA D.; LOMBARDO M.; VULTAGGIO M.. **Study on ambiente concentrations of PM₁₀, PM_{10-2,5}, PM_{2,5} and gaseous pollutants. Trace elements and chemical speciation of atmospheric particulates**. Atmospheric Environment 44, p. 5244-5257, 2010.

DOZENA, E. C.. **Poluição Atmosférica: Uma Análise Crítica da Legislação Ambiental Aplicada à Indústria**. 2000. 56 f. Monografia (Mestrado) - Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais Na Indústria, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999. Disponível em:
<http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/monografias/mono_edvaldo_c_dozena.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2012.

Environmental Protection Agency – EPA. **Particle pollution and your health**, 2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>>. Acesso em 14 mar. 2012.

EKMEKCIOGLU, D.; KESKIN, S. S.. **Characterization of Indoor Air Particulate Matter in Selected Elementary Schools in Istanbul, Turkey**. Indoor and Built Environment, Turkey, v. 16, n. 2, p. 169-176, December 2006.

HABIL, M.; TANEJA, A.. **Children's Exposure to Indoor Particulate Matter in Naturally Ventilated Schools in India**. Indoor and Built Environment, India, v. 20, n. 4, p. 430-448, March 2011.

HONG KONG INDOOR AIR QUALITY SOCIETY – HKIAQS. Disponível em: <<http://www.hkiaqs.org.hk/>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

ITO, L. X.. **Monitoramento da qualidade do ar de ambientes internos - Bibliotecas**. 2007. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Ufscar, São Carlos, 2007.

LEVY, S. J.. **Síndrome dos Edifícios Doentes: Aspectos microbiológicos, qualidade do ar em ambientes interiores e legislação brasileira**. Encarte Técnico da Revista Abrava, 2008. Disponível em: <http://www.abrava.com.br/encarte/Ed260_Encarte_parte1.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2012.

LIMA, B. A.. **Amostragem da medição de material particulado em ambientes externos**. 2011. 75 f. Trabalho de Conclusão (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2011.

LISBOA, H. M.; QUADROS, M. E.. **Controle da Poluição Atmosférica**. Florianópolis: Ens, 2010. 37 p. Disponível em: <<http://www.lcqar.ufsc.br/adm/aula/Capitulo%209%20Ar%20Interno.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2012.

LOPES, F. S.. **A utilização de sistemas de informação geográfica no estudo da exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar (Saccharum sp) no estado de São Paulo**. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

LOUKIA, P. C.; CONSTANTINI A. S.. **Seasonal variation of the size distribution of urban particulate matter and associated organic pollutants in the ambient air**. Atmospheric Environment 43, p. 4557-4569, 2009.

MATÉ, T.; GUAITA, R.; PICHIULE, M.; LINARES, C.; DÍAZ, J.. **Short-term effect of fine particulate matter (PM_{2.5}) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid (Spain)**. Science of the Total Environment, Spain, v. 408, p. 5750-5757, July 2010.

MORENO, T.; JONES, T. P.; RICHARDS, R. J.. **Characterisation of aerosol particulate matter from urban and industrial environments: examples from**

Cardiff and Port Talbot, South Wales, UK. Science of the Total Environment, UK, p. 337-346, April 2004.

MOURATIDOU, T.; SAMARA, C.. **PM_{2.5} and associated ionic component concentrations inside the archaeological museum of Thessaloniki, N. Greece.** Atmospheric Environment, Greece, v. 38, p. 4593–4598, April 2004.

NASCIMENTO, G. C.. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos: biblioteca pública.** 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Usp, São Carlos, 2011.

NASCIMENTO, G. C.. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos: Salas de aulas.** 2008. 156 f. Trabalho de Conclusão (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health. Disponível em: <<http://www.niosh.com.my/en/>>. Acesso em: 21 abr. 2012.

OGDEN, S.. **Projeto Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos.** 2ª Ed. Rio de Janeiro, RJ. Meio Ambiente. p. 14 a 17, 2001.

OMS, Organização Mundial de Saúde. **Um mundo onde ninguém tenha problemas para respirar.** Disponível em: <<http://www.who.int/respiratory/gard/FlyerPORTblue.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2012.

PRADO, R. T. A.. **Qualidade do Ar Interno.** Notas de aula do Departamento de Engenharia de Construção Civil. Usp, São Paulo, 2001.

PERDRIX, A.; PARAT, S.; LIAUDY, S.; MAÎTRE, A.. **Syndrome des bâtimenst malsains.** Revue Francophone des Laboratoires, n. 373, p. 67-72. Amsterdam: Elsevier, 2005.

PERRINO C.; CANEPARI S.; CATRAMBONE M.; TORRE S. D.; RANTICA E.; SARGOLINI T.. **Influence of natural events on the concentration and composition of atmospheric particulate matter.** Atmospheric Environment 43, p. 4766-4779, 2009.

PINHEIRO, C.. **História das bibliotecas no mundo ocidental.** São Paulo, 2007.

POLICHETTI, G.; COCCO, S.; SPINALI, A.; TRIMARCO, V.; NUNZIATA, A.. **Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁) on the cardiovascular system.** Toxicology, n. 261, p. 1-8. Italy: Elsevier, 2009.

QUADROS, M. E.; LISBOA, H. M.. **Controle da Poluição Atmosférica: Qualidade do Ar Interno.** São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.lcgar.ufsc.br/adm/aula/Capitulo%209%20Ar%20Interno.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2012.

QUEIROZ, P. G. M.; JACOMINO, V. M. F.; MENEZES, M. A. B. C.. **Composição Elementar do Material Particulado Presente no Aerossol Atmosférico do Município de Sete Lagoas, Minas Gerais**. Química Nova, Belo Horizonte, v. 30, n. 5, p.1233-1239, 24 jul. 2007.

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 mar. 2012.

RESOLUÇÃO ANVISA nº 9 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 19 mar. 2012.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 003 de 28/06/90. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em 25 jan. 2012.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 382 de 26/12/06. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em 25 jan. 2012.

ROCHA, N. C. D.. **Análise das condições higrotérmicas em espaços da biblioteca geral da universidade de Coimbra**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Departamento de Tecnologia e Gestão do Ambiente, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

SANTOS, J. P. C. M.. **Avaliação experimental dos níveis de qualidade do ar interior em quartos de dormir:Um caso de estudo**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

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

SCHIRMER, W. N.; PIAN, L. B.; SZYMANSKI, M. S. E.; GAUER, M. A.. **A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes**. Ciência & Saúde Coletiva [en línea] 2011, vol. 16, 2008. ISSN 1413-8123. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=63019108026>>. Acesso em 03 abr. 2012.

SHILTON, V.; GIESS, P.; MITCHELL, D.; WILLIAMS, C.. **The Relationships between Indoor and Outdoor Respirable Particulate Matter: Meteorology,**

Chemistry and Personal Exposure. Indoor and Built Environment, UK, v. 11, p. 266-274, March 2002.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/>>. Acesso em: 23 abr. 2012.

VANZ, S. A. S.. **Padrões para infra-estrutura e mobiliário de bibliotecas.** Rio Grande do Sul: Biccatecca, 2005. 26 p.

World Health Organization – WHO. Disponível em: < <http://www.who.int/en/> >. Acesso em 30 mar. 2012.

WILSON, A. L.. American Gas Foundation. **Literatura Review of indoor ultrafine particles and residential gas appliances.** California: Wilson Environmental Associates, 2008. 155 p.

WILKINS, E. T.. **Air pollution aspects of the London fog of December 1952:** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Article first published online: 29 dez. 2006. Disponível em:
<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49708034420/abstract>>. Acesso em: 24 jan. 2012.