

# DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA ANÁLISE DE PARTÍCULAS DE PRECIPITAÇÃO SECA EM AMBIENTE ATMOSFÉRICO

Thiago Brasileiro Mendonça<sup>1</sup>

Leila Miho Sato<sup>2</sup>

Renata Noemi Ogassawara<sup>3</sup>

Larissa Rodrigues Teixeira<sup>4</sup>

Gabrielly Lacerda Aragão<sup>4</sup>

Gabriel Messias do Santos<sup>5</sup>

Luana Santos de Souza<sup>6</sup>

Cristian Amaral Santos Menezes<sup>7</sup>

## Resumo

Este trabalho está relacionado a poluição atmosférica e principalmente o material particulado em suspensão no ar. Um ambiente foi selecionado para o estudo: prédio residencial localizado na zona sul de São Paulo próximo ao aeroporto de Congonhas, selecionado pela sua proximidade a grandes avenidas e principalmente o aeroporto, que influencia diretamente a concentração e a dispersão dos materiais particulados.

Nosso objetivo foi desenvolver uma metodologia para análise do material particulado em precipitação seca, sendo esta economicamente viável para estudos acadêmicos, a partir disso nossa metodologia baseia-se na contagem de partículas, determinando a geometria e o tamanho das mesmas. A determinação das partículas em precipitação foi obtida através de amostragem feita por cada dois andares do prédio residencial para estudos em laboratório com o uso de

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP (Bauru). Escola Técnica Estadual de São Paulo - ETESP. Técnico em Meio ambiente pela ETESP e Graduando em Meteorologia pela UNESP. E-mail: thiago\_mendonca2009@hotmail.com

<sup>2</sup> Escola Técnica Estadual de São Paulo - ETESP. Universidade Estadual Paulista - UNESP (SJC). Técnico em Meio ambiente pela ETESP e Graduando em Engenharia Ambiental pela UNESP.

<sup>3</sup> Escola Técnica Estadual de São Paulo - ETESP. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Técnico em Meio ambiente pela ETESP e Graduando em Administração pela Universidade Presbiteriana Mackenzie

<sup>4</sup> Escola Técnica Estadual de São Paulo - ETESP. Técnico em Meio ambiente pela ETESP.

<sup>5</sup> Escola Técnica Estadual de São Paulo - ETESP. Faculdades de Tecnologia do Estado de São Paulo - FATEC-SP. Técnico em Meio ambiente pela ETESP e graduando em Engenharia civil pela FATEC-SP.

<sup>6</sup> Professora co-orientadora. Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista campus de Rio Claro (2007) e mestrado em Ciência Florestal pela UNESP (2012) campus Botucatu.

<sup>7</sup> Professor orientador. Mestre em Tecnologia, graduado em Química industrial pela Escola Superior de Química Oswaldo Cruz (1986), licenciado em química pelas Faculdades Oswaldo Cruz (1999).

softwares apropriados (imageJ e ZEN) para o estudo. A caracterização física envolveu a determinação da geometria e o tamanho das partículas. As técnicas utilizadas para a contagem das partículas baseiam-se na utilização do microscópio óptico e do software para facilitar a contagem. **Palavras-Chave:** Material Particulado; Metodologia; Partículas; Poluição atmosférica; Precipitação seca.

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ANALYSIS OF DRY PRECIPITATION PARTICLES IN THE ATMOSPHERIC ENVIRONMENT

### **Abstract**

This work is related to air pollution and particulate matter in air suspension. One environment was selected for the study: a residential building located in the south of São Paulo near the airport of Congonhas, selected for its proximity to major avenues and especially the airport, which directly influences the concentration and dispersion of particulate materials. Our objective was to develop a methodology for the analysis of particulate matter in dry precipitation, being this economically feasible for academic studies, from this our methodology is based on particle counting, determining the geometry and size of the same. The determination of the particles in precipitation was obtained by sampling every two floors of the residential building for laboratory studies with the use of appropriate software (imagej and ZEN) for the study. The physical characterization involved the determination of the geometry and the size of the particles. The techniques used for particle counting are based on the use of the optical microscope and the software to facilitate counting.

**Keywords:** Atmospheric pollution; Dry precipitation; Methodology; Particles; Particulate matter.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Poluição Atmosférica

“Considera-se poluente atmosférico qualquer substância presente no ar que pela sua concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança. Basicamente, a distribuição das concentrações de poluentes na atmosfera depende das condições de emissão e das condições meteorológicas, podendo alguns poluentes ser transportados a grandes distâncias antes de atingirem o nível do solo” (ELSOM, 1989).

Material Particulado (MP) - Os sólidos que compõem o chamado Material Particulado têm uma estrutura minúscula e se dispõem em uma complexa configuração no ambiente. Em geral, estes possuem características físicas e químicas diversas e são classificados conforme o tamanho das partículas. Isto porque existe uma relação entre o diâmetro da partícula e a saúde pública, uma vez que estas podem penetrar no trato respiratório.

**Tabela 1.**

Origem, formação, composição e demais informações sobre os MP inaláveis.

	Origem	Formação	Composição	Fontes	Permanência na atmosfera	Processos de remoção	Distâncias percorridas
<b>Partículas finas</b>	Ultrafinas (<0,1µm)	Nucleação Condensação Coagulação	Sulfatos, carbono elementar, compostos de metais, compostos orgânicos com baixa pressão de vapor.	Combustão, Transformação de SO <sub>2</sub> e alguns compostos orgânicos, processos com temperaturas elevadas	Minutos a horas	Crescimentos dentro do modo acumulação. Difusão em direção a gotas de chuva	Até dezenas de km
	Finas (0,1 - 2,5 µm)	Combustão, processos sob temperaturas elevadas e reações atmosféricas. Condensação, coagulação, evaporação de gotas de névoa contendo gases dissolvidos e reagidos	Íons de sulfato, nitrato, amônio, carbono elementar, compostos orgânicos, metais (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe etc.)	Combustão de carvão, óleo, gasolina, diesel e madeira, produtos de transformação atmosférica do NOx, SO <sub>2</sub> . Processos sob temperaturas elevadas.	Dias a semanas	Formação de gotas de chuva em nuvens e precipitação Deposição seca	Centenas a milhares de km

**Fonte:** USEPA, 2004.

## 1.2. Influências meteorológicas e processos de remoção do MP no ar ambiente

O período de permanência de uma partícula na atmosfera é determinado pelo seu tamanho e pelas condições meteorológicas. No que se refere às partículas em suspensão com diâmetro menor que  $10\mu\text{m}$ , a velocidade de sedimentação é praticamente insignificante, podendo ser comparada à turbulência e movimento produzido pelo vento. Estas partículas tendem a permanecer no ar por longos períodos na atmosfera (CERUTTI, 2000). Entre os fatores que influenciam na dispersão e no tempo de vida do MP na atmosfera estão o vento, a turbulência, a estabilidade da atmosfera, topografia, uso do solo e processos de remoção.

### 1.2.1. Vento

“O vento é um importante componente na diluição e transporte dos poluentes e consiste na circulação e movimento da atmosfera. A direção e velocidade dos ventos são dependentes das condições meteorológicas e dos obstáculos que ele encontra na superfície da terra (topografia e uso do solo). Quanto mais veloz for o vento, maior será a probabilidade de o poluente ser diluído na atmosfera. A direção do vento define o local onde a partícula percorrerá seu trajeto” (KAWANO, 2003; DE MELO LISBOA, 1996). “A componente vertical do vento, dominada por sistemas de alta e baixa pressão, também interfere na dispersão dos compostos, pois de acordo com a situação os contaminantes tanto podem ser arrastados para altitudes mais elevadas quanto para as proximidades do solo” (DE MELO LISBOA, 1996).

### 1.2.2. Turbulência

“A turbulência é a movimentação do vento de maneira irregular com rápidas alterações de velocidade e direção, acompanhada por correntes ascendentes e descendentes. O gradiente térmico da atmosfera (variação da temperatura em relação à altitude) tem grande importância na estrutura da turbulência térmica que produz a ascendência e descendência dos ventos abaixo dos 1000m de altitude. Além da turbulência térmica, a turbulência mecânica formada pelos ventos produz redemoinhos circulares (vórtices) que influenciam no transporte dos poluentes atmosféricos” (GODISH, 1991 apud KAWANO, 2003).

### 1.2.3. Estabilidade atmosférica

“A poluição aérea depende das condições de ventos à superfície e da estabilidade atmosférica, que pode ser verificada através da altura da camada de inversão térmica. A estabilidade é a propriedade da atmosfera de resistir ou facilitar o movimento vertical do ar gerado pela turbulência convectiva (térmica). Quanto mais estável a atmosfera, menor será a diluição e o transporte dos poluentes. A estabilidade é ocasionada pela subsidência do ar que resulta na formação da inversão térmica. Esta última funciona como um verdadeiro “tampão” inibindo a dispersão da poluição na vertical e concentrando os poluentes a baixos níveis atmosféricos. Segundo Monteiro (2007), a ocorrência de concentrações elevadas de poluentes deve-se a alta estabilidade do ar. Em condições de tempo estável, a concentração de poluentes tende a se agravar durante a noite, quando a estabilidade do ar aumenta devido ao resfriamento noturno. A camada de inversão térmica chega muito próxima à superfície e a poluição fica concentrada nos primeiros metros da atmosfera” (MONTEIRO, 2007).

### 1.2.4. Processos de remoção

“A deposição do MP pode ser seca ou úmida. A remoção seca é expressa em termos da velocidade em que o MP se deposita em uma superfície e varia de acordo com as dimensões da partícula. Devido às reações na atmosfera, partículas ultrafinas rapidamente crescem e transformam-se em finas. Este processo não é contínuo, pois partículas finas não alcançam dimensões maiores que  $2,5\mu\text{m}$  e, portanto, permanecem longos períodos em suspensão no ar. Partículas finas com componentes higroscópicos crescem com o aumento da umidade, assim, quando os grãos se tornam grandes o suficiente para não serem retidos na nuvem eles caem sob forma de chuva. Este processo é conhecido como remoção úmida. MP com diâmetro acima  $1\mu\text{m}$  é removido pela impactação oferecida pelas gotas da chuva. Já as ultrafinas são pequenas o suficiente para esquivar das gotículas de chuva, evitando sua captura e remoção” (USEPA, 2004).

## 1.3. Umidade Relativa do ar

O índice mais conhecido para descrever o conteúdo de vapor d'água é a umidade relativa. Variações da umidade relativa causadas por variações da temperatura ocorrem na natureza tipicamente por: variação diurna da temperatura; movimento horizontal de massa de ar; movimento vertical de ar. Sendo assim,

o conteúdo de vapor d'água real (razão de mistura) do ar permaneceu inalterado, fazendo com que apenas a umidade relativa variasse. Em suma, a umidade relativa indica quão próximo o ar está da saturação, enquanto a razão de mistura mostra a real quantidade de vapor d'água contida no ar.

#### 1.4. Partículas inaláveis e Saúde Pública

A fração particulada constitui uma grande parte da massa da exaustão que caminhões e ônibus a diesel lançam ao ar. Cerca de 80% desse Material Particulado (PM) é fuligem, a fumaça negra que se vê saindo pelos canos de escapamento. Essa fuligem é composta de partículas muito pequenas com diâmetro medido em micrômetros, ou seja, a milésima parte de 1 milímetro. As partículas com dimensões menores que 10  $\mu\text{m}$  (PM10) são chamadas inaláveis, pois possuem a capacidade de serem depositadas nas superfícies de trocas gasosas do pulmão – os alvéolos.

O material particulado é o poluente atmosférico mais consistentemente associado a efeitos adversos à saúde humana. Assim, ao seu núcleo de carbono estão adsorvidos inúmeros poluentes presentes no ar, cuja ação irritante, tóxica ou cancerígena é facilitada pelo transporte destes compostos para a intimidade do organismo pela inalação do material particulado. As partículas inaláveis se mantêm por um período considerável junto às células do tecido pulmonar, permitindo que pequenas quantidades de tóxicos causem danos à saúde graças a sua prolongada permanência.

Quanto menor é a partícula, maior é a sua absorção nas trocas gasosas efetuadas pelo pulmão, carregando consigo compostos nocivos que podem se manifestar causando lesões não só locais, no sistema respiratório, mas também de ordem sistêmica, manifestada em qualquer outro órgão ou sistema de organismo. As partículas inaladas contêm substâncias adsorvidas à sua superfície ou absorvida na intimidade do seu núcleo de carbono. As partículas também podem ser, de certa forma, aprisionadas pelas células do tecido pulmonar, impregnando o pulmão de manchas pretas, antracose (Conpet - O mundo do diesel e a saúde de seus habitantes).

Este artigo tem como objetivos, identificar as fontes emissoras, contribuição acadêmica de estudo, desenvolver um método de análise e contagem de partículas

que seja acessível aos estudantes, verificar se a altitude influencia na dispersão de poluentes atmosféricos e na concentração de partículas, utilizar itens de fácil acesso e de baixo valor agregado, demonstrar a eficácia e a viabilidade do método, verificar a geometria e tamanho das partículas. Assim este desenvolvimento tem importância para o incentivo da pesquisa e estudo do material particulado de forma acessível, onde possibilita ramificar os estudos. O estudo e análise da poluição atmosférica em relação às partículas é muito submetido em salas limpas e ambientes controlados (NBR ISO 14644-4 de 04/2004), onde são realizados pela indústria farmacêutica, eletrônica, informática, entre outros, a fim de verificar e controlar a contaminação do material particulado, para diminuir danos e interferências nas pesquisas realizadas, além de ser submetido a estudo de caso e o maior conhecimento das partículas.

## **2. MATERIAL E MÉTODO**

### **2.1. Testes de amostragem**

Os testes de amostragem foram realizados com a finalidade de avaliar o material de melhor desempenho para a adsorção de partículas. Em relação ao local escolhido para os testes, os requisitos adotados foram: (a) local de difícil alcance (para evitar contato de agentes indesejados); (b) protegido da chuva; (c) de interesse do trabalho (com circulação de carros). Cumprindo os requisitos mencionados acima, a lâmina foi posicionada no estacionamento aberto localizado no campus da FATEC-SP e ETESP, relativamente próximo à área de movimentação dos carros.

Posteriormente, foram realizados os testes com os diferentes produtos candidatos aos testes. Quatro itens foram testados em sua forma líquida: óleo de cozinha, vaselina líquida, parafina líquida e óleo de silicone. As lâminas de laboratório (higienizadas anteriormente) foram posicionadas uma ao lado da outra, contendo duas gotas de cada produto espalhadas nas quatro lâminas. Estas ficaram expostas durante um período de 48 horas no local pré-determinado e foram transportadas em um porta-lâminas, evitando assim o depósito indesejado de partículas não vinculadas ao teste, que podem comprometer o resultado.



Em laboratório, a lamínula foi posicionada cuidadosamente na lâmina, por cima do líquido, evitando a formação de bolhas. No Microscópio Óptico Comum (MOC), a objetiva de 4x e 10x foram adotadas para a visualização e análise das partículas precipitadas.

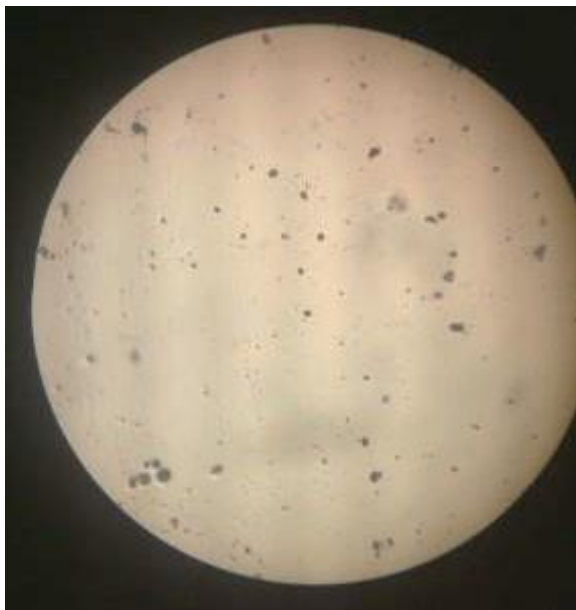


**Figura 1** - Óleo de soja (Zoom 40X). **Fonte:** Imagens elaboradas por Renata Ogassawara (Iphone 4s).



**Figura 2** - Vaselina líquida (Zoom 40X). **Fonte:** Imagens elaboradas por Renata Ogassawara (Iphone 4s).





**Figura 3** - Parafina líquida (Zoom 40X). **Fonte:** Imagens elaboradas por Renata Ogassawara (Iphone 4s).



**Figura 4** - Óleo de silicone (Zoom 40X). **Fonte:** Imagens elaboradas por Renata Ogassawara (Iphone 4s).

O primeiro teste foi realizado com o óleo de soja (figura 1). Por ser um material de origem vegetal, este apresentou moscas e outros insetos. Além disso, devido à sua coloração amarelada, a visualização das partículas foi comprometida.

O segundo teste foi efetuado com a vaselina líquida (figura 2). Devido à viscosidade do material, o transporte do local até o laboratório se tornou mais difícil por ser um líquido que escorre facilmente.

A parafina líquida (figura 3) possui um ponto de ebulição relativamente mais baixo, que resulta na evaporação do material em menos de 10 horas corridas. Desta forma, como o objetivo do método é fazer a análise num período de 48h, constata-se que o líquido em questão não serve para o método proposto, apesar da boa visibilidade que o produto proporcionou ao MOC, uma vez que as partículas depositadas na lâmina acabam por se dispersar no meio devido à evaporação do material.

Já o óleo de silicone (figura 4), foi o que obteve melhores resultados para o teste, devido à sua aderência que foi ideal para a coleta de partículas. Este, diferentemente dos outros, não apresentou dificuldades por não ser um líquido volátil e ter uma viscosidade mais adequada, além de que uma das coisas que foram levadas em consideração foi o índice de refração, o qual é inversamente proporcional à velocidade de propagação da luz no meio. Isto é, quanto maior for o índice de refração do meio, menor será a velocidade de propagação da luz no meio, fato este que proporciona melhor nitidez na visualização do material coletado, de modo que a contagem das partículas foi facilitada para o desenvolvimento da pesquisa.

## 2.2. Estudo de caso

Depois dos testes de amostragem, foi realizado a primeira análise no Edifício Itamaracá, localizado na zona sul da região metropolitana de São Paulo. O prédio foi escolhido devido à proximidade de avenidas movimentadas e ao aeroporto de Congonhas, além da facilidade de acesso que um dos integrantes da equipe proporcionou. A síndica foi informada com antecedência sobre a procedência da pesquisa no local e a distribuição das lâminas no prédio foi realizada de acordo com a disposição dos moradores presentes.

A cada dois ou no máximo três andares, as lâminas foram expostas na parte coberta das varandas dos apartamentos para não receber influência do sereno da noite ou de uma possível chuva. Em cada lâmina foram colocadas duas gotas de óleo de silicone. No local, foram verificados: (a) a velocidade do vento com o anemômetro digital e o caseiro; (b) umidade relativa do ar; (c) temperatura do ar com o termo higrômetro; (d) o horário; (e) observações acerca das particularidades de cada apartamento (presença ou não de fumante no

apartamento, plantas, entre outros). Os moradores receberam um alerta para que mantenham o material de estudo isolado.

Após 48 horas, a equipe retornou aos apartamentos para buscar as lâminas em cada andar estudado e foram realizados os mesmos procedimentos em todos eles. Estas foram guardadas, já com a lamínula, em um porta-lâminas, a fim de evitar o derramamento do óleo e contaminação de partículas fora do estudo, garantindo uma maior precisão nos resultados.

No dia seguinte, as amostras foram introduzidas para análise em MOC no laboratório multidisciplinar da ETESP. Cinco pontos de cada lâmina foram utilizados como referência (método aprimorado a partir da análise de agosto), com isso foi contado as partículas no computador com o Microsoft Paint e analisado a geometria de cada uma delas.

Em seguida no Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais da Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC-SP, o tamanho das partículas foram verificadas no aplicativo Zen do próprio microscópio Metalográfico Axio Vert.A1 e o aplicativo *image j*. Foi necessário realizar um procedimento para garantir uma boa visualização das partículas presentes nas amostras neste microscópio, onde a lâmina foi higienizada com acetona pura, a fim de que as partículas ficassem retidas na placa de Petri. Logo em seguida, colocou-se o líquido de volta na lâmina (limpa) com o conta gotas, e como a acetona evapora rapidamente, só restaram as partículas na lâmina e assim foi possível observar os detalhes no microscópio, como mostra na figura 5.



**Figura 5** - Imagem do microscópio Axio Vert A1 com aumento de 500x, e a medida de algumas partículas em micrômetro, relativa ao 4º andar. Cálculo referente a contagem de partículas.

Com o desenvolvimento da metodologia, em que consiste em capturar por precipitação seca das partículas que estão na atmosfera do local onde for colocado uma lâmina com 2 ou 3 pingos de óleo de silicone, e deixar no local pelo tempo que queira ser analisado, em que o nosso caso foi de dois dias, sendo no total de 48 horas.

Na coleta e análise dos resultados para a contagem das partículas que ficaram grudadas no óleo, foram utilizados 5 pontos da lamínula, a fim de obter um resultado mais preciso e tendo uma média de quantas partículas teria a cada 1 centímetro quadrado (unidade de medida). Então com a contagem e soma dos 5 pontos, foi verificado quantos centímetros quadrados teriam em cada ponto (em que eles são a parte visível quando olha na ocular do microscópio ótico com o zoom de 40x), onde calculou-se por meio de um paquímetro e micrômetro a área da ocular do microscópio ótico utilizando como referência uma rede fina de metal na qual foi colocada para visualização onde o "furo da rede" por meio de cálculos é de  $0,1484 \text{ cm}^2$  multiplicado por 5 (pois são 5 pontos) =  $0,742 \text{ cm}^2$ . Assim pode-se fazer a regra de três em que se registra, a área total da lamínula ( $3,24 \text{ cm}^2$ ) e x

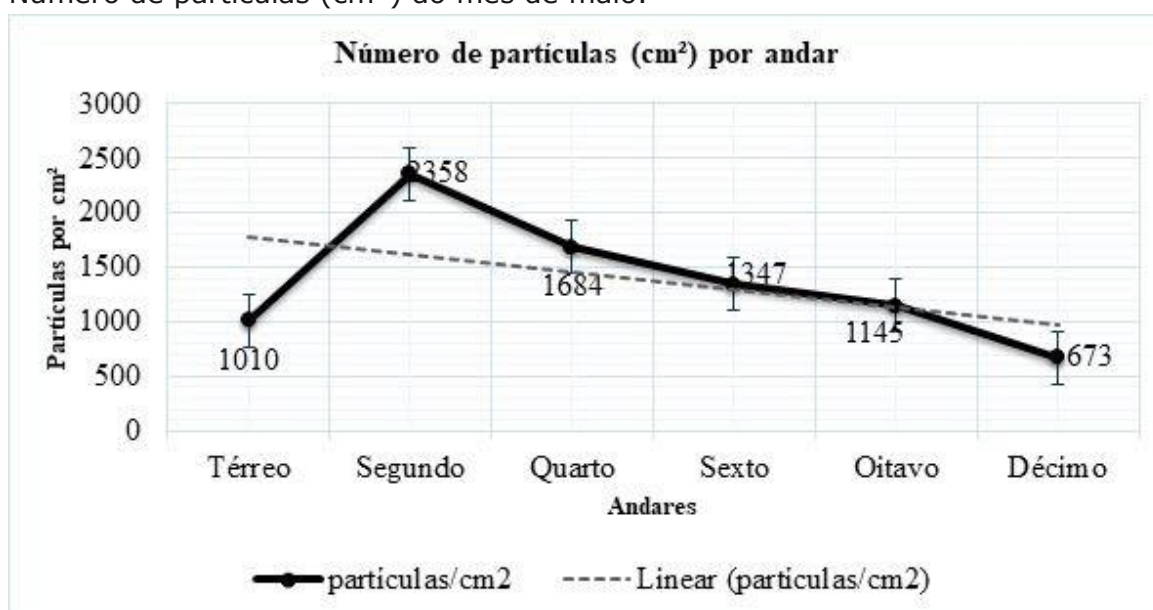
(número a ser descoberto) e em baixo a área que foi visto pela ocular ( $0,1484 \text{ cm}^2$ ) e o número de partículas existente nesta área visível. Desta forma resultando no número de partículas por centímetro quadrado (partículas/ $\text{cm}^2$ ), unidade de medida utilizada ao longo do artigo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Análise referente ao mês de maio

##### Gráfico 1.

Número de partículas ( $\text{cm}^2$ ) do mês de maio.



O óleo de silicone foi selecionado para o desenvolvimento do trabalho e seu uso foi em um prédio na zona sul de São Paulo, próximo ao aeroporto de Congonhas. Segundo as análises referente ao mês de maio, (lembrando que este mês foi analisado somente um ponto de cada lâmina dos andares), ao contrário do que o esperado, o térreo foi a que apresentou a menor concentração de partículas. Isto ocorreu devido à presença das árvores que estavam à frente do prédio, as quais retêm o material particulado em suas copas, influenciando a quantidade de partículas que foram coletadas na amostra.

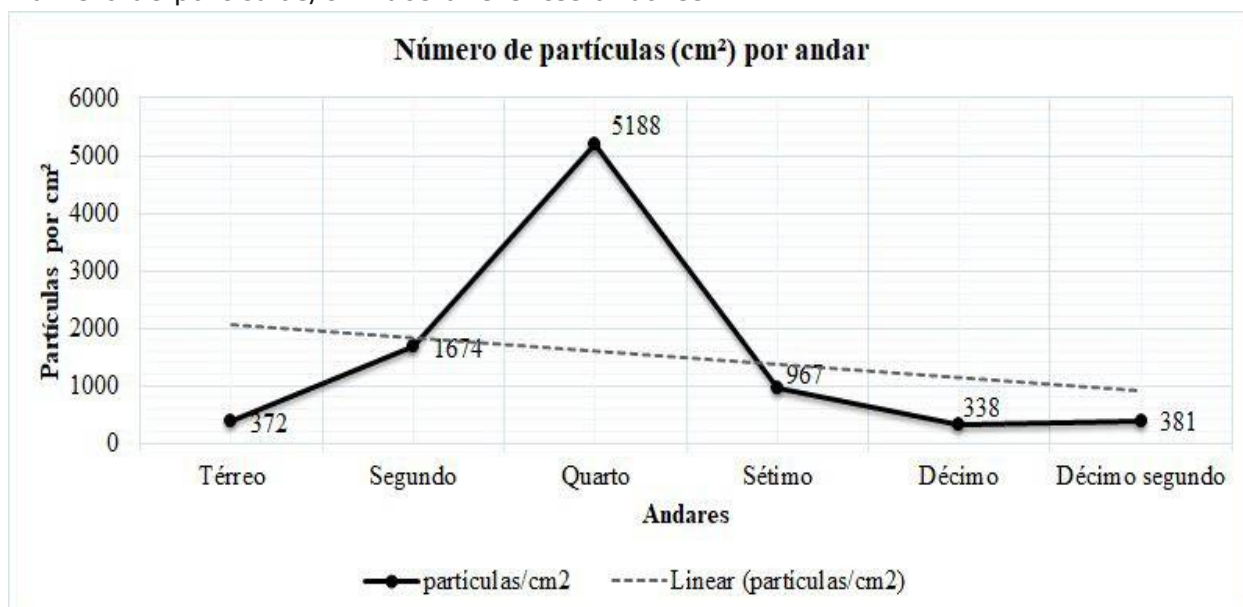
A concentração do número de partículas por  $\text{cm}^2$  se mostrou maior no segundo andar, pois não tinha o alcance das copas das árvores na varanda do apartamento. Com isso as partículas precipitaram sem interferência da

vegetação, evidenciando a importância da arborização para a purificação e qualidade do ar. Com a concentração encontrada no segundo andar, nota-se que nos andares mais próximos do solo têm maior incidência dos MP's do que todos os outros andares, exceto o térreo, como explicado anteriormente. Já o sexto andar, devido a sua altura, teve uma concentração de partículas menor, conforme o esperado, por causa da maior dispersão das partículas em alturas superiores. O oitavo e o décimo andar obtiveram uma diminuição significativa, devido a altura que foi aumentando. Evidencia-se no gráfico 1, que a linha de tendência mostra que é decrescente, como o esperado.

### 3.2. Análises referente ao mês de agosto

#### Gráfico 2.

Número de partículas/cm<sup>2</sup> dos diferentes andares.



Seguindo com as análises para aprimorar nosso método, foi realizado novamente os experimentos no mesmo prédio na zona sul de São Paulo, porém no mês de agosto.

Pelo fato de nosso trabalho depender muito de terceiros, não foi possível realizar exatamente nos mesmos andares.

Como nas medidas anteriores, o térreo apresentou uma das menores concentrações de partículas por causa da presença das árvores presentes à frente do prédio. O segundo continuou com uma alta concentração de

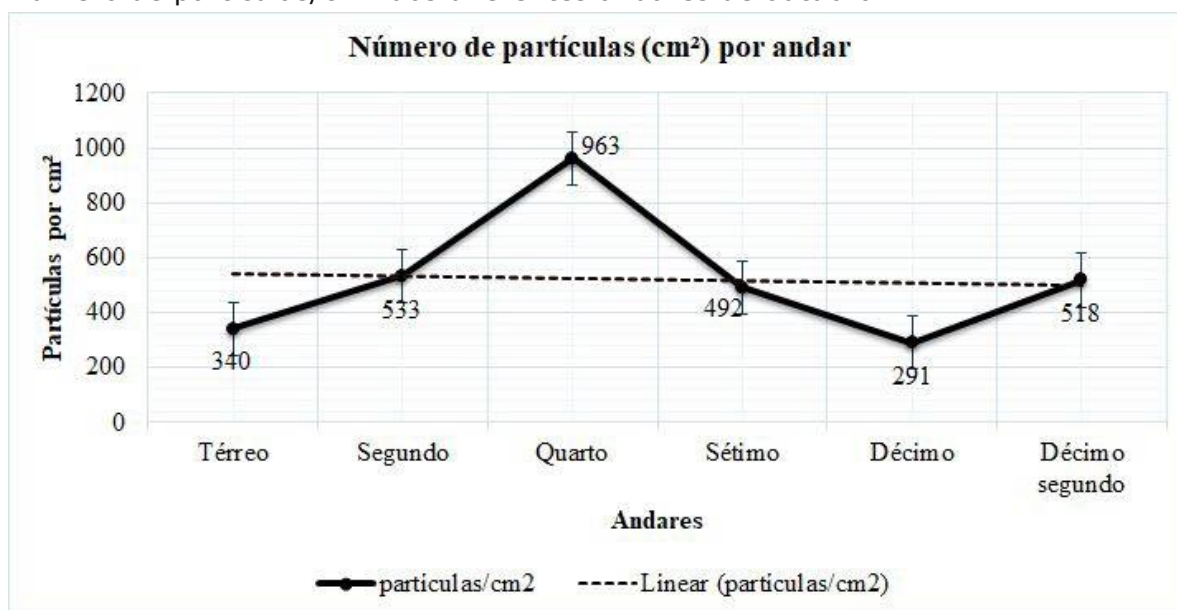


partículas porque as árvores já não estavam mais ao alcance e ele é um dos andares mais baixos analisados, reafirmando a hipótese de que a concentração e a precipitação de partículas geram um acúmulo maior nas áreas mais baixas e próximas à superfície. O quarto andar apresentou uma diferença significativa comparado aos outros andares e análise anterior. Isso ocorreu devido ao fato da presença de um fumante incidente que interferiu no valor da análise, aumentando significativamente a quantidade de partículas. Os demais andares apresentaram uma diminuição das partículas, conforme a altitude ia aumentando, podendo ser verificado no gráfico com base na linha de tendência, menos o último andar tendo um pequeno aumento.

### 3.3. Análise do mês de outubro

#### Gráfico 3.

Número de partículas/cm<sup>2</sup> dos diferentes andares de outubro.



A terceira análise foi realizada no mês de outubro, no mesmo local em que foram feitas as outras análises, no prédio na zona sul de São Paulo. Já nesta amostragem foi possível analisar nos mesmos andares que a segunda análise do mês de agosto, assim dando para perceber melhor a relação das influências do clima sobre a poluição atmosférica, material particulado, e sua dispersão.

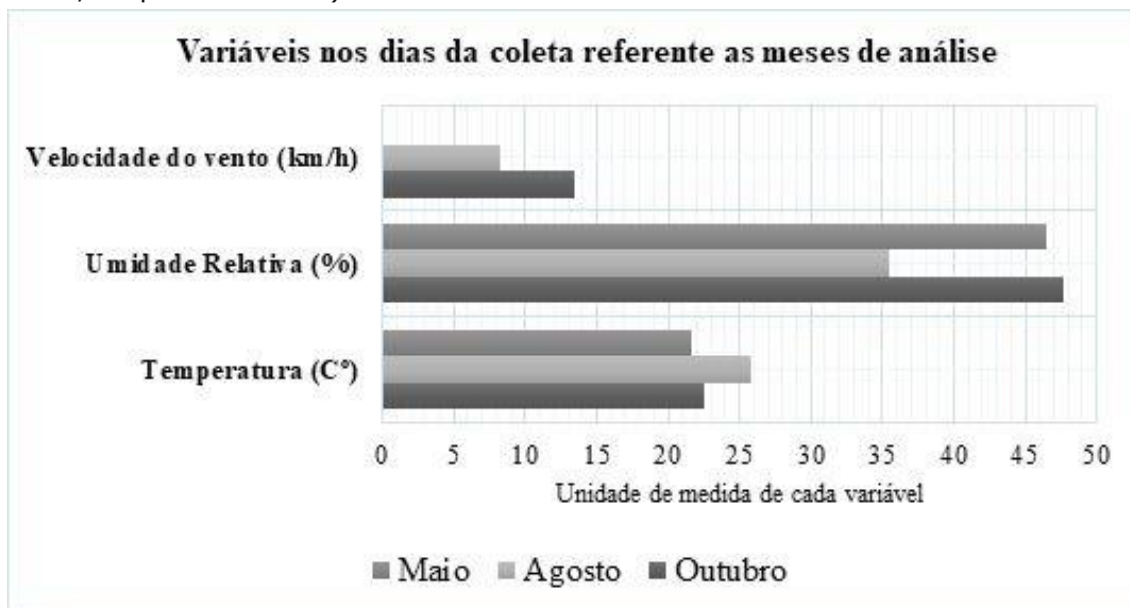


Na primeira amostra, no térreo do prédio, verifica-se o mesmo resultado dos experimentos anteriores, que é uma quantidade menor de partículas por (cm<sup>2</sup>) comparada aos outros andares. Já no segundo andar nota-se uma mudança comparado com o térreo, pois já não há presença de árvores. A maior quantidade de partículas é provavelmente porque nos andares mais perto do solo têm uma concentração maior de partículas, sendo também acumuladas quando precipitam. Sendo este andar com o segundo valor mais alto do gráfico. No quarto andar deu um valor significativamente alto devido a presença de um fumante no andar, o tal incidente deu uma grande alteração na análise. Com isso pode-se informar que com essa quantidade de partículas, o pulmão de quem vive no local e as respiram, tem a sua saúde afetada. O sétimo andar teve um resultado bom e o esperado pelas nossas afirmações já ditas, em que a concentração das partículas diminuiu devido aos fatores climáticos já explicados anteriormente. No décimo andar, observa-se que teve o menor valor de todos os andares, isso devido a sua altura, assim tendo maior dispersão das partículas, por causa que a velocidade do vento tende a ser maior durante todo o dia, as partículas de maiores pesos já foram precipitadas, e somente as mais finas ficam na atmosfera a essa altura. Podendo dizer que quanto maior a altitude menor a concentração de partículas. No último andar (décimo segundo) foi verificado que a concentração aumentou, de acordo com o décimo andar, tendo em vista que as massas de ar levam partículas consigo e assim afetando por onde ela passar vindo de cima para baixo, assim perto do solo têm maior índice de material particulado.

O gráfico 4, referente a umidade relativa do ar e temperatura nos dias de exposição e coleta das amostras, consta que os dois fatores possuem uma correlação, pois a umidade significa o quanto de água na forma de vapor existe na atmosfera no momento em relação ao total máximo que poderia existir na temperatura observada. Portanto quanto maior a temperatura menor vai ser a umidade relativa, e vice-versa, fato que torna elas grandezas inversamente proporcionais. Tal situação influencia diretamente na concentração de partículas ou poluição de material particulado, principalmente porque os poluentes, junto com as partículas, vão juntar (grudar) com a umidade (água) que tem na atmosfera, assim aumentando o seu peso, fazendo com que elas se precipitam e melhorando a qualidade do ar.

**Gráfico 4.**

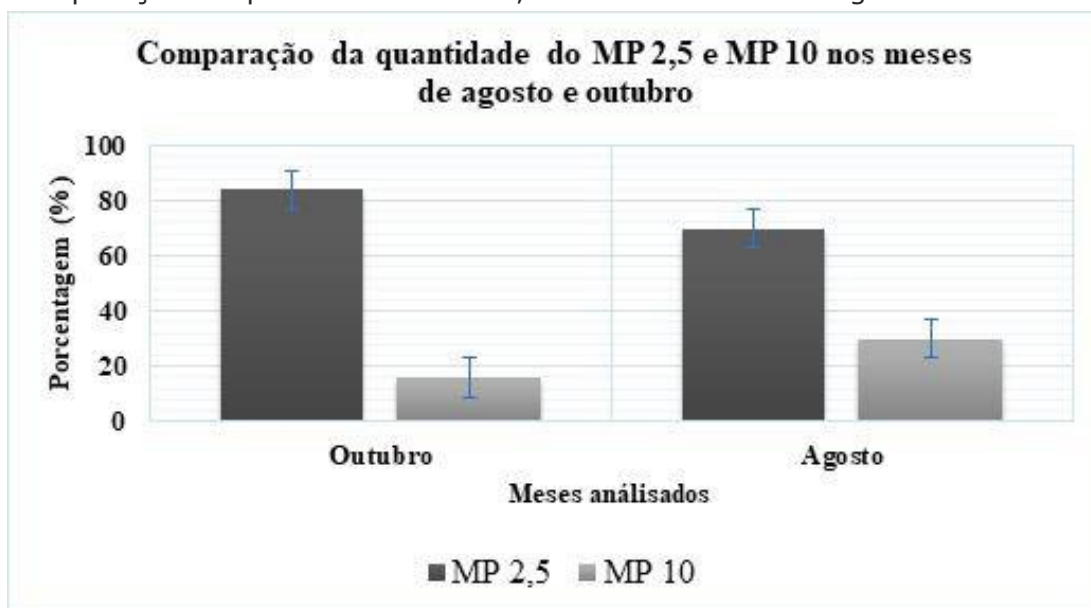
Variáveis nos dias da coleta referente aos meses de análise. (outubro, agosto e maio, respectivamente).



Classificou-se entre partículas finas e grossas e calculou o tamanho médio das partículas encontradas nas análises de agosto e outubro (aprimoramento da metodologia), conforme o gráfico 5. Sendo assim, foram encontradas em maior quantidade MP 2,5 em ambos os meses, o que é preocupante para a população local pois pode penetrar nos alvéolos pulmonares, podendo causar antracnose e outras doenças como o câncer de pulmão. A diferença está no aglomerado de partículas que foram formadas no mês de outubro, que se mostra em maior diâmetro. Isso se deve ao fato de a umidade relativa está diretamente relacionada com a disposição dessas gotículas de água carregadas. Também verifica-se ser um ambiente mais residencial, tendo suas principais fontes poluidoras os veículos automotores, como carros, ônibus, motocicletas, aviões, contudo em ambientes mais urbanizados predominam MP 10.

**Gráfico 5.**

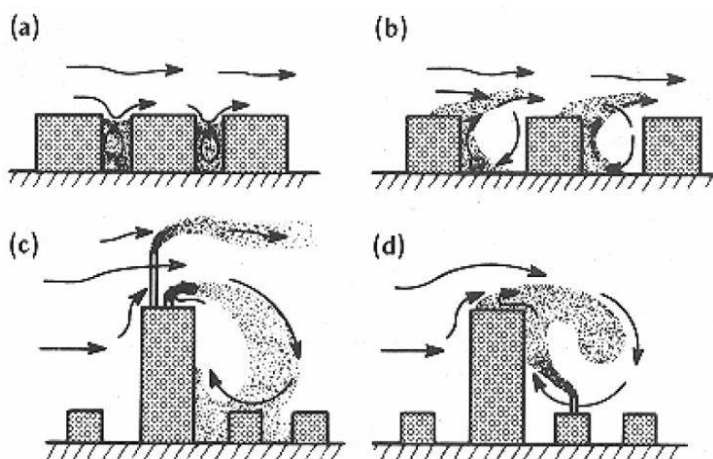
Comparação da quantidade do MP 2,5 e MP 10 no mês de agosto.



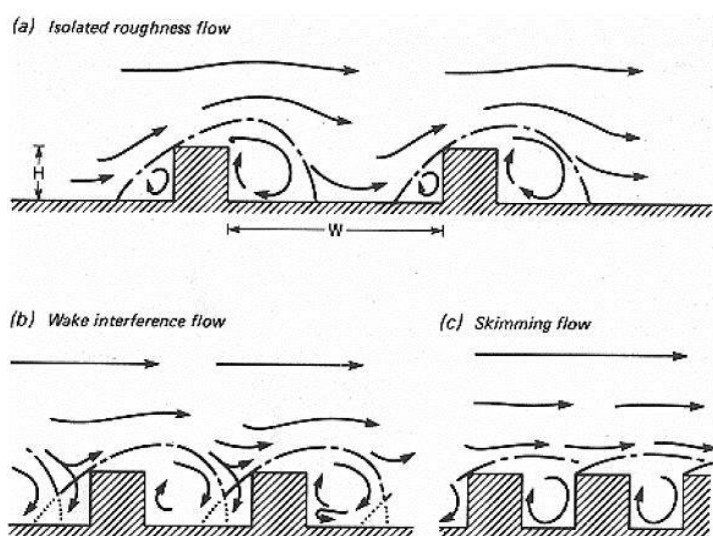
Conforme a LOMBARDO, Magda, 2011 na Figura 6, observa-se a influência da direção dos ventos na quantidade de partículas presente nos ambientes urbanos onde tem aglomeração de prédios, fazendo com que as partículas fiquem mais concentradas entre eles.

De acordo com Mascaró (1991), na Figura 7, o movimento do vento em ambientes urbanos, no qual possui mais obstáculos para se movimentar, quanto tem uma movimentação de ar em que se encontra um prédio em frente, este vento tende a subir, passando por cima do prédio e com isso levando material particulado para os últimos andares. Porém não é comparado a quantidade de partículas encontradas nos primeiros andares e os últimos, pois a gravidade e o peso das mesmas são de maior consideração.

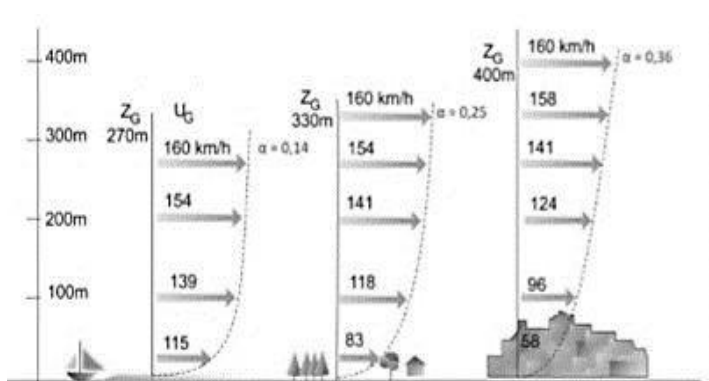
Conforme os resultados obtidos gráficos dos números de partículas, verificou-se que a altitude influencia na dispersão das partículas, principalmente por causa do vento, como evidencia na figura 8 abaixo, onde mostra que quanto mais próximo da superfície e de objetos menor é a velocidade do vento, devido ao atrito entre o ar e a matéria, causando um cisalhamento vertical do vento, além do movimento turbilhonar (vórtices), fazendo com que as partículas fiquem mais concentradas perto da superfície.



**Figura 6** - Movimentação do ar. LOMBARDO, Magda. 2011.



**Figura 7** - Movimento turbilhonar do vento causado por obstáculos. MASCARÓ, 1991.



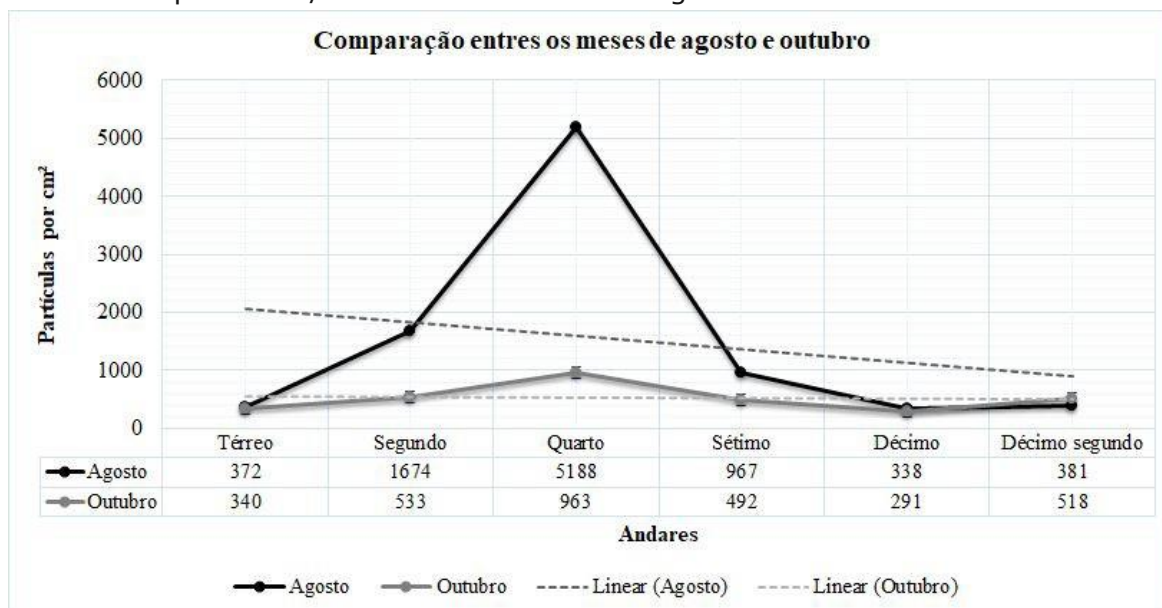
**Figura 8** - Efeito da rugosidade no perfil de velocidade do vento do campo à cidade (Gandemer & Guyot - 1976).

Com o gráfico 6, foi analisado o mesmo método utilizado (onde verificaram-se cinco pontos das lâminas), assim percebe-se que no mês de agosto por ser uma

época do ano onde a umidade relativa e a temperatura são mais baixas, ocorreu uma quantidade maior de partículas do que comparando com o mês de outubro, no qual é um mês onde a umidade relativa do ar e a temperatura são mais elevadas, fazendo com que tenha menos material particulado na atmosfera. Além de ambos os meses mostrarem através das linhas de tendência do gráfico que o número de partículas tende a diminuir conforme a altitude.

### Gráfico 6.

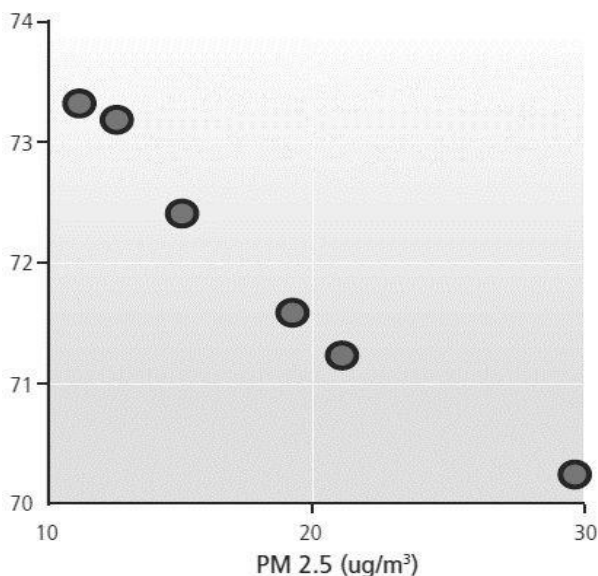
Número de partículas/cm<sup>2</sup> entre os meses de agosto e outubro.



E em relação aos gráficos (7 e 8) onde mostram a associação entre a expectativa de vida e a concentração de material particulado fino e a taxa de mortalidade por doenças cardiorrespiratórias e médias anuais de MP 2,5 na região RMSP (região metropolitana de São Paulo) respectivamente, tem-se a visualização de quanto maior for a média de MP 2,5 maior é a taxa de mortalidade e menor a expectativa de vida.

**Gráfico 7.**

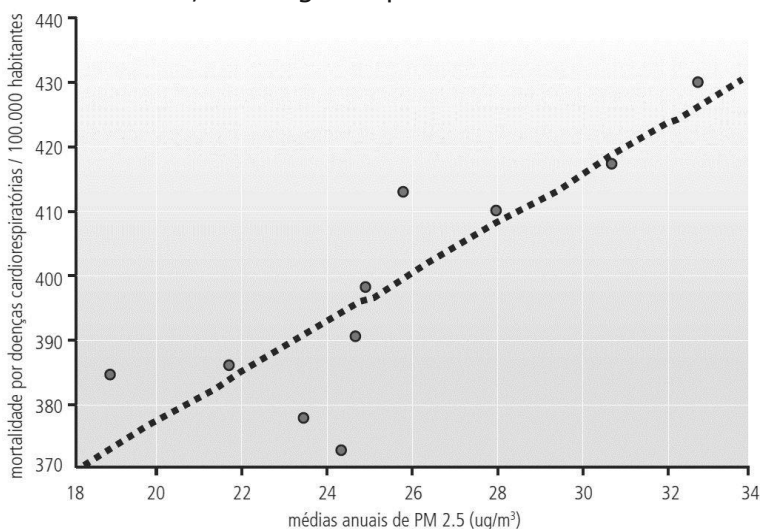
Expectativa de vida em 6 cidades americanas que exibem diferentes níveis ambientais de MP 2,5.



**Fonte:** Dockery 1996.

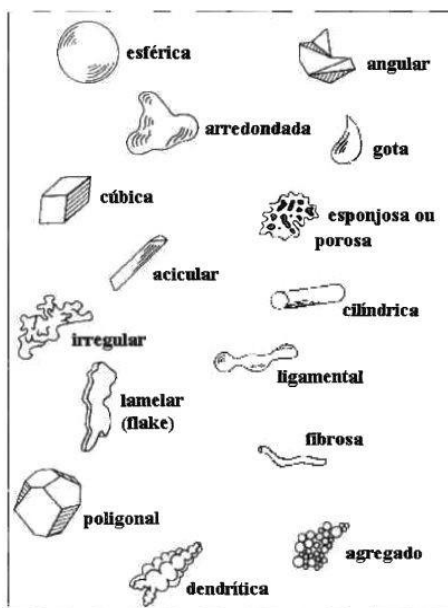
**Gráfico 8.**

Relação entre taxa de mortalidade ajustada (mortes/100.000 habitantes) por doenças cardiorrespiratórias e médias anuais de PM2.5 na Região Metropolitana de São Paulo, ao longo do período 1996 a 2005.



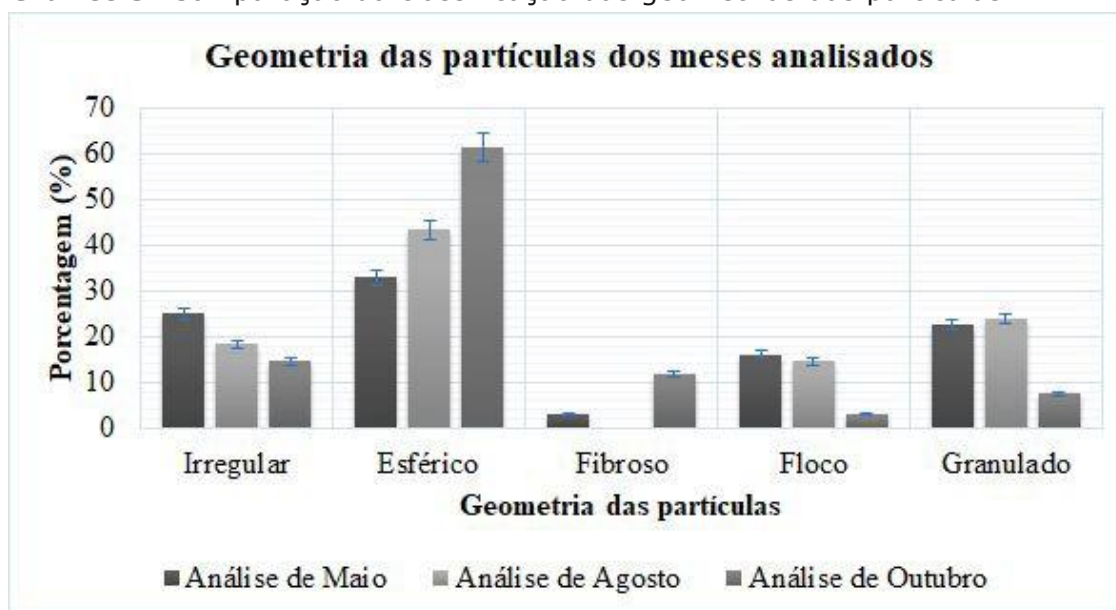
**Fonte:** Programa EconomizAR – conpet, A Saúde da População e a Poluição Atmosférica. Com base nos resultados obtidos no gráfico 9 referentes aos meses de Agosto e Outubro, e a partir das definições dos tipos de geometrias de partículas (figura 9), verifica-se que a maior parte das partículas encontradas em bairros residenciais são as finas, observando-se que 70% - 80% são MP 2,5, consideráveis partículas finas. A maior parte das partículas encontradas são esféricas.





**Figura 9** - Formas possíveis de partículas (German 1994).

**Gráfico 9.** Comparação da classificação das geometrias das partículas



Em relação aos custos ao decorrer da pesquisa, o custo total foi de R\$ 43,58, isso considerando a disponibilidade dos aparelhos pela Escola Técnica Estadual de São Paulo, em seu laboratório multidisciplinar, e sem considerar os testes das amostragens (óleos), somente visando a metodologia final, o custo foi somente de R\$18,50.



## 4. CONCLUSÃO

A dispersão dos poluentes se dá por diversos fatores como o vento, a umidade relativa do ar, a turbulência, a estabilidade atmosférica, a altura da camada da inversão térmica e a deposição do material particulado.

O vento por ser uma variável vetorial, tendo sua intensidade, direção e sentido, consegue “levar” consigo os poluentes entre eles o material particulado, assim dispersando ou mesmo acumulando em uma região. Em relação à temperatura e umidade, ambas têm influência sobre a concentração de poluentes, principalmente as partículas em suspensão, na qual constata-se que a presença de maior umidade proporciona uma menor concentração na área local. Isso se deve ao fato da alta umidade conter mais gotículas no ar havendo, no entanto, condições nas quais agregam partículas e precipitam-se junto a essas gotículas, removendo a maior parte das partículas presentes, por isso quando chove o ar fica mais limpo. A temperatura está diretamente relacionada com a umidade relativa do ar, pois o aumento da temperatura contribui para que as moléculas de água se decomponham, torna a umidade mais baixa. Com o aumento da temperatura, a umidade relativa diminui e quando o ar se esfria, a umidade relativa aumenta, diminuindo o ponto de saturação. Com a condensação da água é eliminado o excedente que torna o ar mais seco.

Portanto, com a realização desta pesquisa, verifica-se que há uma concentração maior de material particulado (MP) em ambientes urbanos. Locais de ambientes rurais, tais como praias ou mesmo floresta, retém uma menor quantidade de MP, devido a maior arborização, maior fluxo de vento (devido por ter menos construções), entre outras razões. Entre os fatores que afetam na dispersão de poluentes, o vento atua de forma bem significativa, em que faz as partículas se dispersar, nos ambientes urbanos os ventos são mais lentos que em ambientes menos urbanizados, pois em áreas urbanas com uma grande quantidade de prédios formam barreiras para a movimentação e circulação do ar, assim diminuindo a sua velocidade. Nas análises dos meses de maio, agosto e outubro, verifica que o mês que apresentou maior número de partículas e a concentração de todos os andares foi no mês de agosto, por ser inverno e ter uma umidade relativa baixa e ser um mês em que a inversão térmica é mais frequente. Em relação a incidência de partículas finas e a geometria esférica estarem em maior frequência nas análises de maio e outubro, isso se dá porque estão relacionados,

em que o material particulado fino tem normalmente a geometria esférica, pois não tem aglomeração de outras partículas e assim sendo menor do que as demais.

Em conformidade ao cumprimentos dos objetivos (identificar as fontes emissoras, contribuição acadêmica de estudo, desenvolver um método de análise e contagem de partículas que seja acessível aos estudantes, verificar se a altitude influencia na dispersão de poluentes atmosféricos e na concentração de partículas, utilizar itens de fácil acesso e de baixo valor agregado, demonstrar a eficácia e a viabilidade do método, verificar a geometria e tamanho das partículas) , em que identifica-se as fontes emissoras, sendo a principal veículos automotores, como carros, caminhões, pela pequena distância de avenida Washington Luis e avenida Vieira de Moraes e avenida Vinte e três de Maio, por quais passam uma grande quantidade de veículos, e aviões (por causa da proximidade de 2,5 km do aeroporto de Congonhas), nas quais os poluentes dominantes são, partículas finas liberada na combustão do combustível, hidrocarbonetos e nitratos.

Com o desenvolvimento desta pesquisa foi possível verificar que a maior parte das partículas encontradas em bairros residenciais são as finas; verificar a quantidade de partículas com o uso de líquidos encontrados no cotidiano; é diretamente proporcional a altitude e a dispersão do material particulado (utilizando a tese de Magda Lombardo como uma das principais referências), constata-se com os resultados da porcentagem de MP 2.5 e MP 10, que as partículas finas são de maior frequência. E o uso do óleo de silicone e de outros líquidos testados, tais como óleo de soja e parafina líquida, foi constatado que é possível verificar a quantidade estimada de partículas presentes no ar.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ivo Torres de. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

BRASIL. Ministério do Trabalho e emprego. Norma de higiene ocupacional: procedimento técnico : coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho. São Paulo : Fundacentro, 2007.

CERUTTI, P. F. Carvão e meio ambiente. Centro de ecologia, UFRGS. Porto Alegre: Ed. Universidade, p. 667-695, 2000.

Conpet - O mundo do diesel e a saúde de seus habitantes Programa EconomizAR – conpet, A Saúde da População e a Poluição Atmosférica. UFPR, Umidade relativa. <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-3-3.html>> Acesso em:01/12/16

DE MELO LISBOA, H. Contribution à la mise en oeuvre et à la validation de modèles de dispersion atmosphérique applicables aux composés odorants. Tese de doutorado. Université de Pau et des Pays de l'Adour- Ecole des Mines d'Alès, 1996, 196p.

ELSOM D. Atmospheric pollution: causes, effects, and control policies. New York: Brasil Blackwell Inc.;1989.287p.

GANDEMER, J., GUYOT, A. Integración du phénomène vent dans la conception du milieu bati. Paris:Ministère de la Qualité de la Vie,1976.

GERMAN, R. M. Powder Metallurgy Science, 2<sup>o</sup> ed., Princeton, NJ: MPIF, 1994.

JUNIOR, Neyval Costa Reis. Poluição do Ar. Espírito Santo: UFES.

KAWANO, M.. Desenvolvimento, validação e aplicação de um modelo matemático para dispersão de poluentes atmosféricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. 109p.

LOMBARDO, Magda. A Atmosfera Urbana. São Paulo, 2011.

PARINI, Claudemir J. Estudo Comparativo de métodos de determinação do tamanho de partícula. 2003.

PEREIRA, L. et alii. Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil. Environ Health Perspect. 106(6): p. 325–329. 1998 Jun. Disponível em:<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1532988/?page=1>. Acesso em: 29/09/16.

OLIVEIRA, Marcio Gledson Lopes. Impacto dos aerossóis atmosféricos na formação de nuvens e precipitação sobre a região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

USEPA – United States Environmental Protection Agency – USEPA. (2004) Users guide for the AMS/EPA regulatory model – AERMOD. EPA-454/B-03-001.

VORMITTAG, E. et al. Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde. São Paulo, 2013.

**Recebido em:** 07/08/2018

**Aceito em:** 07/02/2019