



*DEM - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA*

# **INVESTIGAÇÃO SOBRE POLUENTES ATMOSFÉRICOS - INSTRUMENTAÇÃO**

*Ana Paula Lopes Coelho de Castro Lyra  
e Aline Mendonça Guidry<sup>1</sup>,  
Marcos Sebastião de Paula Gomes<sup>2</sup>.*



<sup>1</sup> Alunas de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental da PUC-Rio.

<sup>2</sup> Eng. Mecânico, PhD., Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

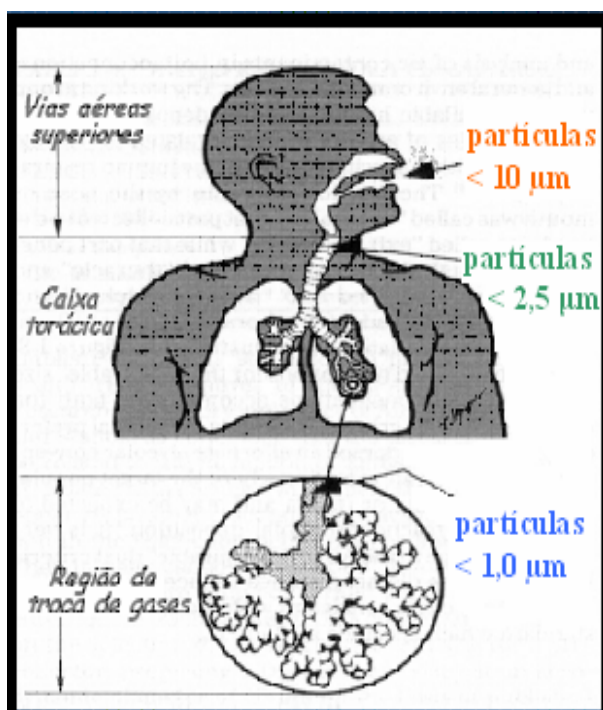
## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. METODOLOGIA / RESULTADOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. ESTUDO DE CASOS.....</b>	<b>5</b>
<b>4. CONCLUSÕES / TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>6</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>7</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>7</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica vem sendo uma das principais preocupações no mundo inteiro principalmente devido ao seu efeito perigoso à saúde humana. No Brasil, essa preocupação intensificou-se no início da década de 70, período de forte crescimento econômico e industrial.

Os poluentes atmosféricos podem ser gases ou partículas em suspensão. Estas última formam um sistema físico conhecido como aerossol atmosférico (partículas com tamanho inferior a  $100\mu\text{m}$  em suspensão em um gás, no caso o ar). As partículas em suspensão no ar menores que  $10\mu\text{m}$  são consideradas inaláveis, sendo que as de tamanho menores que  $2,5\mu\text{m}$  são consideradas respiráveis, atingindo os alvéolos pulmonares e assim estão mais relacionadas às doenças respiratórias mais graves, como efisema e câncer pulmonar. Estas partículas geralmente são emitidas nos processos de combustão industrial e residencial, assim como pelos sistemas de exaustão de veículos. Como referência para o tamanho das partículas pode-se adotar a espessura de um fio de cabelo, que tem aproximadamente  $100\mu\text{m}$ , sendo  $50\mu\text{m}$  o limite de visão humana.



colidindo na placa.

Após diversos estudos foi constatado que o projeto desenvolvido por Costa (2005) de um impactador em cascata de três estágios, para coletar partículas de 10, 2,5 e 1 microns de diâmetro aerodinâmico com 50% de eficiência, ocorriam zonas de recirculação acima e abaixo da placa de impactação, assim havendo depósito indesejável de partículas nas paredes do equipamento. Também foi observada uma elevada eficiência de coleta pela placa de impactação no terceiro estágio do impactador para todos os diâmetros de partícula lançados.

## 2. METODOLOGIA / RESULTADOS

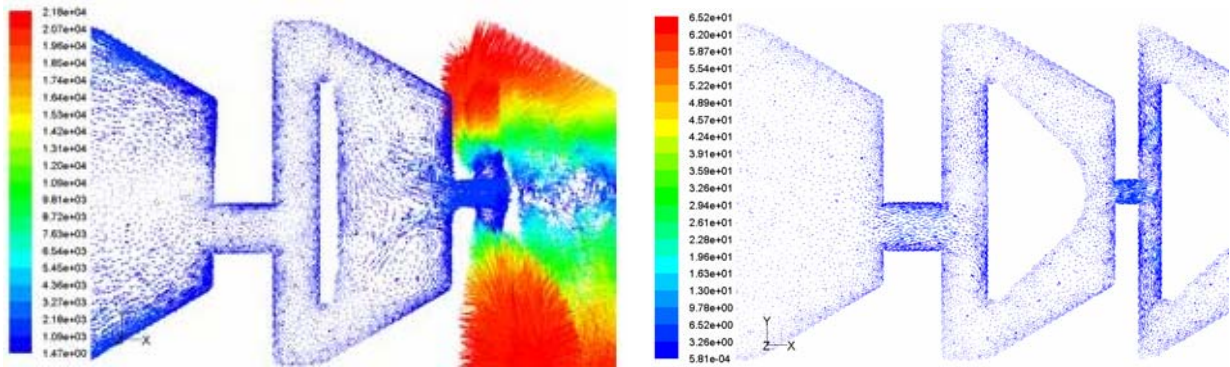
Com o objetivo de investigar uma nova geometria para o arranjo do impactador, foram consultados artigos e sites de revendedoras de instrumentação. Para melhorar a eficiência de coleta do equipamento é necessário diminuir a recirculação existente e assim reduzir significativamente o depósito de partículas em locais indesejáveis (fora da placa coletora).

Tal preocupação tem forçado a demanda por novos equipamentos capazes de fazer a amostragem correta das partículas em suspensão no ar para permitir uma análise adequada, de forma a que se possa avaliar suas fontes, sua composição e seus efeitos na saúde.

Um destes equipamentos que faz a amostragem é o impactador inercial em cascata, que consiste na separação pelo princípio de inércia das partículas. Estas, conforme o seu tamanho, conseguem ou não acompanhar o escoamento no interior do instrumento. As partículas de tamanhos maiores, e por isso mais pesadas, possuem uma maior inércia e assim acabam se desviando do escoamento e colidindo contra uma placa de impactação. Por outro lado, as partículas de tamanho menores e mais leves conseguem seguir o fluxo do escoamento não

Utilizando conhecimentos em simulação numérica de escoamentos (CFD – Computational Fluid Dynamics) e de trajetórias de partículas, o primeiro passo após a identificação do problema é a criação de novas geometrias que possam solucionar o problema de recirculação abaixo das placas coletoras.

Após algumas tentativas, desenhamos uma geometria, a qual se resume num “cone” sólido anexado à parte inferior da placa de impactação, que preenche o espaço vazio onde ocorriam as recirculações, evitando a perda desnecessária de partículas. As figuras abaixo representam a diferença entre as geometrias atual (à esquerda) e proposta (à direita), junto com suas diferentes interferências no escoamento. Observa-se que na figura da nova geometria proposta há uma significativa diminuição das zonas de recirculação e de velocidade das partículas.



Também foram realizadas simulações considerando um único estágio por vez. A geometria do impactador foi dividida em três partes, uma para cada estágio. Por simetria, uma nova geometria em formato de fatia (cunha) foi construída para cada estágio, de modo que a entrada dos três fosse substituída por um cilindro de comprimento longo (3 vezes o diâmetro) para que os efeitos do escoamento de entrada pudessem ser desprezados. Assim, estas geometrias com um número menor de elementos possibilitaram que as suas respectivas malhas ficassem mais refinadas, aumentando a precisão dos resultados.

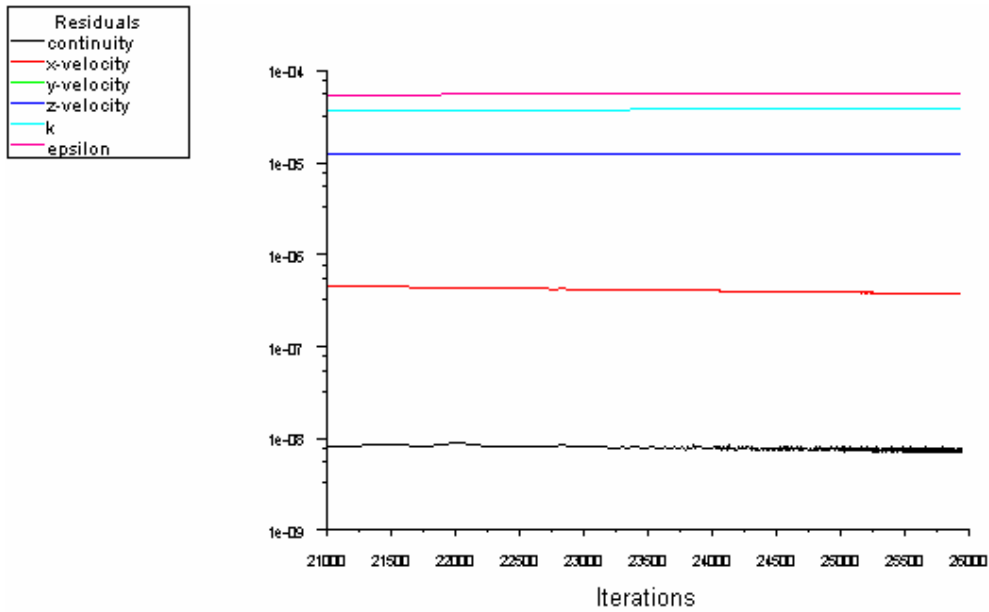
Em seguida, realizaram-se as simulações numéricas, executadas em programas computacionais (no caso foram utilizados os pacotes comerciais Gambit e Fluent), que permitem a previsão dos efeitos no escoamento de ar dentro do impactador causados pelas condições estipuladas em cada geometria.

O número de etapas de cada teste de geometria variou conforme o andamento da simulação, pois ele está relacionado a vários fatores independentes. Desde a qualidade da malha até o método para solução numérica das equações de conservação devem ser cuidadosamente considerados.

Utilizando-se o método de Volumes Finitos, a geometria do instrumento foi repartida em vários elementos, para os quais as equações de conservação (massa, quantidade de movimento linear, e modelo de turbulência k-epsilon) foram resolvidas. As equações de conservação foram transformadas em equações algébricas formando um sistema que foi resolvido numericamente para toda a geometria. Este método pode ser empregado em estruturas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

O algoritmo para solução progride de forma iterativa. A atualização da solução, de passo para passo, é controlada pelo monitoramento dos fatores de relaxação (que variam entre zero e um), de forma a se obter uma convergência mais eficiente. Estes fatores estão associados à atualização da solução entre duas iterações sucessivas.

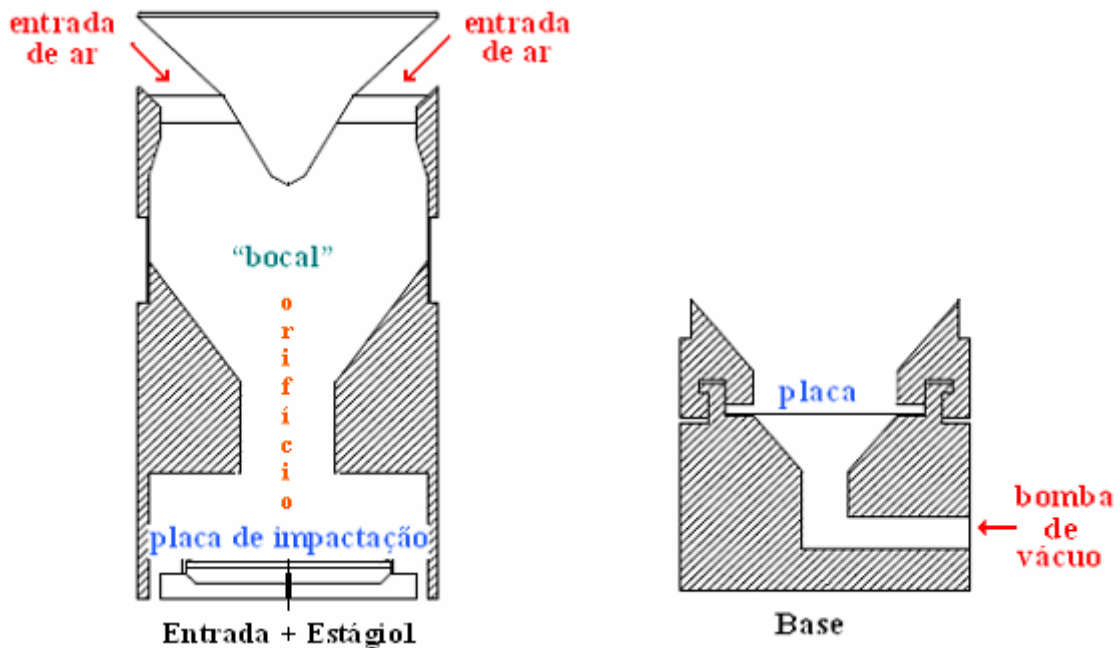
A convergência da solução é obtida quando o resíduo das equações de conservação tende à zero, como é demonstrado pela figura abaixo, que mostra resíduos pequenos e constantes (no caso, para as equações da continuidade, velocidade nas direções x,y e z, e para o modelo de turbulência k e epsilon).



### 3. ESTUDO DE CASOS

O atual impactador inercial em cascata possui 3 estágios consecutivos. Cada estágio é composto por um “bocal” com orifícios na extremidade inferior (três, sete e catorze respectivamente) e uma “placa de impactação” (onde o material é coletado) posto perpendicularmente e logo abaixo aos orifícios.

A entrada multidirecional foi projetada para evitar a perda de material particulado na entrada de ar. A entrada pode ser conectada a qualquer estágio, possibilitando a variação da seqüência e do número de estágios a serem utilizados durante a amostragem. A base recebe uma mangueira conectada a uma bomba de vácuo.



Em cada estágio, a força de inércia é responsável por causar um desvio na trajetória das partículas maiores com respeito ao escoamento dos gases, forçando-os a colidir na placa coletora. As partículas mais finas seguem para o próximo estágio. Cada estágio possui um diâmetro de orifícios diferentes, limitando a passagem de partículas. No nosso caso, o primeiro estágio seleciona partículas de 10 $\mu$ m, o segundo estágio 2,5 $\mu$ m e o terceiro 1 $\mu$ m, com o objetivo de englobar os principais tamanhos relacionados à doenças respiratórias, conforme as informações da introdução deste relatório. Caso não ocorra nenhum salto significativo, ou seja, observada uma sobrecarga de depósito de partículas na superfície da placa, por teoria é possível assumir um tamanho de coleta de partículas com 50% de eficiência para cada estágio. Todas as partículas que não forem coletadas em nenhum dos três estágios, ou seja, partículas menores que 1 $\mu$ m, ficarão depositadas na última placa, localizada na base do impactador. Esta placa, da mesma forma que as placas de impactação dos três estágios, é pesada e por diferença é calculado o peso do material particulado depositado na placa. Posteriormente, este material é levado para análise em laboratório, onde é descoberta a sua fonte, direcionando as linhas de atuação de projetos de combate à poluição atmosférica.

Impactadores inerciais em cascata vêm sendo utilizados há muito tempo para a determinação do tamanho de partículas de poluentes atmosféricos absorvidos por vias aéreas. Algumas das aplicações de tal instrumento são na área de: (I) estudos de poluição atmosférica, (II) na avaliação de perigos ocupacionais, e (III) amostragem de bio-aerosóis (Cox and Wather, 1995).

Embora alguns instrumentos tenham sido construídos baseado no princípio acima, desde a sua introdução por May (1945), há muito espaço para desenvolvimento. Os interesses de pesquisas recentes focam a coleta eficiente das curvas de cada estágio, e a minimização das perdas na entrada e entre os estágios (Marple et al., 1993).

#### **4. CONCLUSÕES / TRABALHOS FUTUROS**

A pesquisa teórica inicial permitiu uma maior compreensão do comportamento dinâmico do escoamento no interior do instrumento, além do conhecimento de outros tipos de impactador em cascata existentes, junto com as suas diferentes características, vantajosas ou não.

A metodologia descrita com a utilização dos programas computacionais citados é simples, podendo-se facilmente modificar os dados adaptando-os para diferentes geometrias e condições para análises diversas.

A partir dos resultados obtidos, a geometria proposta já está praticamente definida como a nova geometria para o impactador de três estágios, onde as perdas por deposição em locais indesejáveis (fora da placa de impactação) será minimizada.

Este trabalho abordou a elaboração de um impactador em cascata nacional para avaliação de poluentes atmosféricos. Em um futuro breve este equipamento, que ainda não é produzido no Brasil, poderá estar sendo utilizado em monitoramento e controle da qualidade do ar em ambientes de trabalho e em ambientes que sofrem interferências da poluição industrial, veicular e humana.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro e ao Marcos Sebastião de Paula Gomes pela dedicada orientação.

## REFERÊNCIAS

- COSTA, Claudia Marcia Ferreira. Projeto, Simulação Numérica e Teste Experimental de um Impactador Inercial em Cascata para Amostragem de Aerossóis Atmosféricos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, agosto. 2005.
- CASTANHO, Andrea Dardes de Almeida. A Determinação Quantitativa de Fontes de Material Particulado na Atmosfera na Cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, setembro. 1999.
- SANTOS, Alcinéa Meigikos dos Anjos. Avaliação do Diâmetro das Partículas de Poeira Suspensas no Ar dos Ambientes de Trabalho. Seminário Internacional sobre Exposição à Sílica.
- COX, C. S., AND WATHER, C. M. *Bioaerosols Handbook*, CRC Press, Florida, 1995.
- FRANK, G., KASHPAROV, V., PROTSAK, V., AND TSCHIERSCH, J. Comparison Measurements of a Russian STANDARD Aerosol Impactor with several Western Standard Aerosol Instruments. *Journal of Aerosol Science*, vol.27, pp.447-486, 1996.
- HERING, S. V. Impactors, Cyclones and other Inertial and Gravitational Collectors, in *Air Sampling Instruments*, B. S. Cohen and S. V. Hering ed., 8<sup>th</sup> edition, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Ohio, 1995.
- HINDS, W. C. *Aerosol Technology - Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*, John Wiley and Sons, New York, 1982.
- MARPLE, V. A., AND LIU, B. Y. H. Characteristics of Laminar Jet Impactors, *Environ. Sci. Technol.*, vol.8, pp.648-654, 1974.
- MARPLE, V. A., RUBOW, K. L., AND OLSON, B. A. Inertial, Gravitational, Centrifugal, and Thermal Collection Techniques, in *Aerosol Measurement - Principles, Techniques, and Applications*, K. Willeke and P. A. Baron ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.
- MAY, K. R. The Cascade Impactor, An Instrument for Sampling Coarse Aerosols, *J. Scient. Instrum.*, vol.22, pp.187-195, 1945.
- RADER, D. J., AND MARPLE, V. A. Effect of Ultra-Stokesian Drag and Particle Interception on Impaction Characteristics, *Aerosol Science and Technology*, vol.4, pp.141-156, 1985.