

DLEC.04-A/78

CETESB

A Sec STAR
p/ Arquivo

24/10/78

CD

go

0455

ESTUDO COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO E TAMANHO DE PARTICULAS
FEITO PELO MICROSCÓPIO E O CONTADOR DE PARTICULAS "ROYCO"

PARTE II - TEORIA E METODOLOGIA

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

BIBLIOTECA

AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 CEP 05489 - PINHEIROS

SAO PAULO - BRASIL

ARQUIVO TECNICO

OUT/78

DLEC/GLA/STAR

8210
C338e(RCET
022776

24-4-85.120

CLASS

DATE

27/4/85

Page 1 of 1

Page 1 of 1

The first part of the report is devoted to a description of the experimental conditions. The second part is devoted to a description of the results. The third part is devoted to a discussion of the results. The fourth part is devoted to a conclusion. The fifth part is devoted to a bibliography. The sixth part is devoted to an appendix. The seventh part is devoted to a list of figures. The eighth part is devoted to a list of tables. The ninth part is devoted to a list of references. The tenth part is devoted to a list of symbols. The eleventh part is devoted to a list of abbreviations. The twelfth part is devoted to a list of units. The thirteenth part is devoted to a list of constants. The fourteenth part is devoted to a list of formulas. The fifteenth part is devoted to a list of equations. The sixteenth part is devoted to a list of diagrams. The seventeenth part is devoted to a list of graphs. The eighteenth part is devoted to a list of plots. The nineteenth part is devoted to a list of charts. The twentieth part is devoted to a list of maps. The twenty-first part is devoted to a list of photographs. The twenty-second part is devoted to a list of micrographs. The twenty-third part is devoted to a list of X-ray diffraction patterns. The twenty-fourth part is devoted to a list of infrared spectra. The twenty-fifth part is devoted to a list of ultraviolet spectra. The twenty-sixth part is devoted to a list of mass spectra. The twenty-seventh part is devoted to a list of nuclear magnetic resonance spectra. The twenty-eighth part is devoted to a list of electron spin resonance spectra. The twenty-ninth part is devoted to a list of Mössbauer spectra. The thirtieth part is devoted to a list of Raman spectra. The thirty-first part is devoted to a list of Brillouin spectra. The thirty-second part is devoted to a list of neutron scattering spectra. The thirty-third part is devoted to a list of positronium annihilation spectra. The thirty-fourth part is devoted to a list of muon spin rotation spectra. The thirty-fifth part is devoted to a list of muon spin spectroscopy spectra. The thirty-sixth part is devoted to a list of muon spin relaxation spectra. The thirty-seventh part is devoted to a list of muon spin polarization spectra. The thirty-eighth part is devoted to a list of muon spin depolarization spectra. The thirty-ninth part is devoted to a list of muon spin transfer spectra. The fortieth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization spectra. The forty-first part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization spectra. The forty-second part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer spectra. The forty-third part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer spectra. The forty-fourth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization spectra. The forty-fifth part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer depolarization spectra. The forty-sixth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization transfer spectra. The forty-seventh part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer depolarization transfer spectra. The forty-eighth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization transfer polarization spectra. The forty-ninth part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer depolarization transfer depolarization spectra. The fiftieth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization transfer polarization transfer spectra.

The first part of the report is devoted to a description of the experimental conditions. The second part is devoted to a description of the results. The third part is devoted to a discussion of the results. The fourth part is devoted to a conclusion. The fifth part is devoted to a bibliography. The sixth part is devoted to an appendix. The seventh part is devoted to a list of figures. The eighth part is devoted to a list of tables. The ninth part is devoted to a list of references. The tenth part is devoted to a list of symbols. The eleventh part is devoted to a list of abbreviations. The twelfth part is devoted to a list of units. The thirteenth part is devoted to a list of constants. The fourteenth part is devoted to a list of formulas. The fifteenth part is devoted to a list of equations. The sixteenth part is devoted to a list of diagrams. The seventeenth part is devoted to a list of graphs. The eighteenth part is devoted to a list of plots. The nineteenth part is devoted to a list of charts. The twentieth part is devoted to a list of maps. The twenty-first part is devoted to a list of photographs. The twenty-second part is devoted to a list of micrographs. The twenty-third part is devoted to a list of X-ray diffraction patterns. The twenty-fourth part is devoted to a list of infrared spectra. The twenty-fifth part is devoted to a list of ultraviolet spectra. The twenty-sixth part is devoted to a list of mass spectra. The twenty-seventh part is devoted to a list of nuclear magnetic resonance spectra. The twenty-eighth part is devoted to a list of electron spin resonance spectra. The twenty-ninth part is devoted to a list of Mössbauer spectra. The thirtieth part is devoted to a list of Raman spectra. The thirty-first part is devoted to a list of Brillouin spectra. The thirty-second part is devoted to a list of neutron scattering spectra. The thirty-third part is devoted to a list of positronium annihilation spectra. The thirty-fourth part is devoted to a list of muon spin rotation spectra. The thirty-fifth part is devoted to a list of muon spin spectroscopy spectra. The thirty-sixth part is devoted to a list of muon spin relaxation spectra. The thirty-seventh part is devoted to a list of muon spin polarization spectra. The thirty-eighth part is devoted to a list of muon spin depolarization spectra. The thirty-ninth part is devoted to a list of muon spin transfer spectra. The fortieth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization spectra. The forty-first part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization spectra. The forty-second part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer spectra. The forty-third part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer spectra. The forty-fourth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization spectra. The forty-fifth part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer depolarization spectra. The forty-sixth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization transfer polarization spectra. The forty-seventh part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer depolarization transfer depolarization spectra. The forty-eighth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization transfer polarization transfer polarization spectra. The forty-ninth part is devoted to a list of muon spin transfer depolarization transfer depolarization transfer depolarization transfer depolarization spectra. The fiftieth part is devoted to a list of muon spin transfer polarization transfer polarization transfer polarization transfer polarization transfer polarization spectra.

LEC.04-A/78

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO H. ROSSATO JR., 345 CEP 05489 - PINHEIROS
SAO PAULO - BRASIL

ESTUDO COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO E TAMANHO DE PARTICULAS FEITO PELO MICROSCOPIO E O CONTADOR DE PARTICULAS "ROYCO"

PARTE I - TEORIA E METODOLOGIA

I. INTRODUÇÃO

Contadores oticos de particulas (OPC) estão sendo utilizados em larga escala para o monitoramento de limpeza de salas, pesquisas de poluição e para estudos sobre o comportamento de aerossóis no laboratório.

Em principio eles funcionam focalizando um feixe de luz em cima de um "volume de sensoreamento" através do qual particulas do aerosol passam uma de cada vez. A quantidade de luz espalhada ou absorvida de cada particula individual é medida por um fotodetector. A intensidade da corrente na saída do fotodetector é diretamente proporcional ao diametro da particula espalhadora. O sistema tem algumas vantagens, tais como:

- a. particulas podem ser medidas com um minimo de perturbação do aerosol.
- b. a contagem é bem mais rápida e precisa do que o microscopio (isto supondo que o sistema está devidamente calibrado).
- c. o limite do tamanho da particula detectável por este método é $\sim 0.3 \mu\text{m}$.
- d. o espalhamento de luz pode ser calculado teoricamente (pelo menos para particulas esfericas e isotropicas) utilizando a teoria desenvolvida por Mie, para facilitar comparação com os resultados experimentais. A finalidade da presente experiencia é fazer um estudo comparativo de tamanho e concentração de particulas utilizando o Royco OPC e o Microscopio Otico.

II. TEORIA E PROCEDIMENTO

Como mencionamos acima, uma das vantagens do OPC é que o espalhamento da luz pode ser calculado através da teoria de Mie.

Porém, devido a complexidade do processo do espalhamento, e os componentes óticos e eletrônicos utilizados nos instrumentos, é sempre necessário calibrar estes instrumentos com partículas cujo tamanho e propriedades óticas são conhecidas. Os aerossóis mais frequentemente usados para esta finalidade são esferas transparentes do Latex de Polistirene (PSL). Porém, o método do PSL tem duas desvantagens:

- a. o tamanho máximo disponível fica em torno de 3 microns, dificultando a calibração para partículas maiores. Este problema da limitação do tamanho é contornado utilizando outros aerossóis de tamanho conhecido, como por ex.: Pérolas de vidro, Ferro Carbonyl e DOP (Dioctyl Pthalate) (Whitby e Vomela 1967).
- b. como as partículas do PSL são esferas transparentes, a calibração não será válida para partículas de tamanho irregular que absorvem luz. E vale a pena frisar, nessa altura, que na maioria das medidas feitas pelo instrumento no campo, o tipo de aerossol normalmente encontrado seria de tamanho irregular e portanto esta dificuldade torna-se importante.

O problema é resolvido recalibrando o instrumento para partículas irregulares.

Há dois métodos em que isto é feito. O primeiro é devido a Liu e outros (1974) e o segundo método é de Marple e Rubow (1976). Na seção seguinte os dois métodos vão ser discutidos, e veremos que o método de Marple e Rubow é menos laborioso e mais prático, principalmente nas aplicações no campo. Porém o método de Liu, apesar de ser não muito prático para fins de calibração, pode ser utilizado para estudar os "fatores da forma", aspecto esse que também vai ser discutido mais adiante.

III. MÉTODOS DE CALIBRAÇÃO

A maioria dos OPC's disponiveis comercialmente medem mais frequentemente a luz espalhada fora do feixe incidente do que a reducao na intensidade do feixe. O sistema do espalhamento utilizado na maioria deles e de dois tipos:

- a. Espalhamento co-axial
- b. Espalhamento fora de eixo

Os dois sistemas são mostrados esquematicamente na figura 1. O modelo Royco 225, a ser utilizado nesta experiência, é do primeiro tipo. Cálculos teóricos podem ser feitos para determinar como será a resposta do contador para partículas de diferentes diâmetros. Porém, uma calibração experimental é sempre necessária para estabelecer a verdadeira voltagem da saída como função do tamanho de partícula.

Como já mencionamos, no caso do aerosol ser esférico e transparente isto não apresenta grandes problemas, já que o instrumento é calibrado para este tipo de aerosol pelo fabricante. Para partículas irregulares prossegue-se, como já citamos, de duas maneiras:

a. O método microscópico de Liu

O método de Liu et al (1974) consiste em primeiro gerar uma amostra polidispersa do aerosol suficientemente desaglomerado, utilizando um gerador de poeira do leito fluidizado. Subsequentemente estas partículas são amostradas utilizando o OPC. A distribuição dos pulsos na saída do contador é medido usando um analisador de pulsos. Simulta^{neamente}, estas partículas são coletadas num filtro mem^{brana} depois de ter passado pelo volume de amostragem. O filtro membrana é finalmente analisado usando o microscópio. A curva de calibração é obtida utilizando-se um mêtodo de aproximações sucessivas entre os dados fornecidos pelo microscópio e pelo OPC. O método, apesar de ser original, sofre de algumas desvantagens que limita o seu uso.

1. o microscopio mede o diametro linearizado de uma parti

cula, enquanto o OPC mede o diâmetro aerodinâmico equivalente. Para se utilizar o método de aproximações sucessivas é necessário portanto um conhecimento dos "fatores da forma", que nem sempre são conhecidos com muita precisão.

II. o processo matemático envolvido na redução dos dados do microscópio e OPC além de consumir muito tempo está sujeito a uma margem de erro grande, devido aos erros estatísticos nos dados experimentais.

III. para trabalhos no campo com o OPC este método de calibração não seria muito prático.

Devido a estas dificuldades, Marple e Rubow desenvolveram o segundo método de calibração utilizando impactadores inerciais. A grande vantagem deste segundo método é que ele nos dá a calibração devida em termos de diâmetro aerodinâmico da partícula. Porém, antes de entrar em detalhes deste método de calibração, descreveremos como os "fatores da forma" podem ser estudados utilizando a experiência acima.

b. Cálculo de "Fatores da Forma"

O estudo simultâneo de um aerosol de tamanho irregular através do OPC e do microscópio feito na maneira descrita acima nos fornecerá informação importante sobre os "fatores da forma". Sabe-se que o microscópio ótico mede o diâmetro projetado D_p da partícula enquanto o contador ótico mede um diâmetro esférico equivalente - o chamado diâmetro aerodinâmico D_{ae} . Uma vez obtido D_{ae} , o outro diâmetro de importância, isto é, o diâmetro do Stokes (D_{st}) é obtido facilmente já que ambos são definidos como diâmetros de partículas esféricas com a mesma velocidade terminal de queda da partícula irregular. A única diferença entre os dois é que o diâmetro de Stokes é baseado numa partícula com a mesma densidade da partícula irregular e o diâmetro aerodinâmico é baseado numa partícula de densidade unitária. A relação entre os dois (Kottrappa 1972) é:

$$(D_{st})^2 \rho_p = D_{ae}^2 \quad (1)$$

onde o fator de correção de Cunningham é considerado desprezível.

O diâmetro aerodinâmico é relacionado com o diâmetro projetado através da relação (Mercer 1973)

$$D_{ae} = (6/\pi \cdot \alpha_3/K_r \cdot \rho)^{1/2} D_p \quad (2)$$

Com uma pequena simplificação isto ficará

$$\frac{D_{st}}{D_p} = \frac{D_{ae}}{D_p \cdot \rho^{1/2}} = \left(\frac{6}{\pi} \cdot \frac{\alpha_3}{K_r} \right)^{1/2} \quad (3)$$

onde:

α_3 - é o fator da forma de volume

K_r - é o fator da forma de resistência

ρ - é a densidade da partícula

Podemos ver então que através das medidas experimentais de D_p , D_{st} e D_{ae} conseguiremos calcular α_3/K_r . Uma vez α_3/K_r é determinada experimentalmente para um diâmetro específico medido e para partículas de um dado material, ela pode ser aplicada a medidas similares de diâmetro feito sobre partículas de mesmo tipo, para estimar os seus diâmetros aerodinâmicos. Ela poderá ser aplicada também para partículas de mesma forma mas de materiais diferentes (o valor de α_3/K_r deverá ser usado com cautela, já que K_r será uma função de tamanho quando o efeito do escorregamento (Slip) torna significativo). Podemos notar também, através do (3), que o cálculo do fator da forma envolve conhecimento da densidade da partícula. Esta medição é feita através do uso de um Pycnometro, detalhes sobre cuja construção serão discutidos na segunda parte deste relatório. Finalmente é necessário esclarecer que a experiência vai medir o valor de $\alpha_3 \rho / K_{rp}$, ou seja, a razão dos dois fatores da forma para o diâmetro projetado.

Existem outros diâmetros, por ex.: o diâmetro de volume ou diâmetro de uma fibra, etc. A maioria das medidas fei-

O OPC
elevará
os resultados
calibração

tas porém são para o diâmetro projetado, (Cartwright 1962, Watson 1953, Kotrappa 1971, 1972) o que portanto facilitará uma comparação com os resultados da presente experiência. Contudo é importante lembrar que o valor da quantidade $(\alpha^3/K_r)D^2$ é constante qualquer que seja o diâmetro medido.

IV. O MÉTODO DO IMPACTADOR DE MARPLE E RUBOW

Discutiremos agora o método do impactador para a calibração do OPC. Neste método desenvolvido por Marple e Rubow (1976), impactadores inerciais são utilizados para obter uma calibração do OPC baseado ou no diâmetro do Stokes D_{st} ou no diâmetro aerodinâmico D_{ae} . Para se obter um ponto de calibração duas experiências são feitas com o OPC. Na primeira experiência um impactador (especificamente projetado para este fim) é ligado a entrada do OPC, e para a outra o impactador é retirado. Uma análise dos dados dos dois passos fornecerá um ponto de calibração correspondente ao tamanho de 50% do ponto de corte (50% cut point size) do impactador. Mudando o tamanho da embocadura do impactador, outros pontos de calibração podem ser obtidos.

a. Impactadores Inerciais

São dispositivos que classificam partículas com respeito a seu tamanho aerodinâmico chocando um jato de ar carregado de partículas sobre uma placa (Fig. 11). Como mostrado esquematicamente na figura, as partículas grandes chocam-se contra a placa impactadora enquanto as partículas menores seguem as "linhas do fluxo" e são coletadas. Estudos feitos por Marple (1975), Rao (1975) e Jaenicke e Blifford (1974) mostram que se os impactadores são bem projetados e operados, a precisão de corte entre o tamanho aerodinâmico daqueles que são coletados e aqueles que não são é bem delimitada. Maiores detalhes, inclusive as curvas de eficiência de impactadores são fornecidas por Marple e Willeke (1975).

b. O Impactador de Calibração

O impactador utilizado para calibração é mostrado na figura III. O aparelho consiste basicamente em quatro partes.

- a) Corpo
- b) Placa de impactação
- c) Capa
- d) Uma embocadura de entrada

A entrada e a capa do impactador foram feitas em duas partes para que entradas com embocaduras de diâmetros diferentes possam ser facilmente trocadas para mudar o ponto do corte do impactador. A capa pode ser retirada do corpo para se ter acesso fácil a placa impactadora. Dois tipos de entrada são utilizadas, uma para amostrar o ambiente e outra para casos de amostragem onde as partículas terão que ser transportadas até o impactador através de tubos.

c. Calibração do OPC

Para fins de calibração do OPC, as partículas são geradas num gerador de poeira do leito fluidizado, para evitar problemas de aglomeração. Incorporado também no gerador é uma fonte de Kr-85 para neutralizar a carga eletrostática em cima das partículas. As partículas então passam pelo impactador de calibração para o OPC sendo calibrado. Uma câmara de plenum é intercalada entre o impactador e o OPC, para permitir uma melhor homogeneização das partículas antes de entrar no OPC (Fig. IV).

Para se obter um ponto de calibração para o OPC, duas experiências terão que ser feitas. Uma com o OPC amostrando através do impactador de calibração e outra com o OPC amostrando somente através da embocadura da entrada do impactador (isto é, com o impactador sem a placa impactadora). A voltagem dos pulsos na saída do fotodetector é medida em ambos os casos. Para cada medida a razão das concentrações para a mesma voltagem de saída é determinada. (A voltagem do pulso da saída

como foi esclarecido é proporcional ao diâmetro da partícula). O procedimento é repetido para várias voltagens de saída. A voltagem para qual a razão de concentração de partículas é 0.5 correspondera ao tamanho de 50% do ponto de corte do im pactador (Fig. V). O procedimento é agora repetido para embo caduras de vários diâmetros, para obter uma curva de calibra ção.

V. CONCLUSÕES

Este relatório trata de um estudo comparativo de tamanho de partículas medidas com o microscópio ótico e o Royco OPC. Nesta primeira parte (Parte I), discutimos dois aspectos deste estudo do ponto de vista teórico. O primeiro se refere a ca libração do OPC para partículas irregulares que absorvem luz. Dois métodos foram elaborados, um através do uso de um impac tador especificamente projetado para esta finalidade e outro através de uso de um microscópio. O primeiro método, além de ser mais fácil e prático, tem a grande vantagem de nos dar a calibração direta em termos do tamanho aerodinâmico além de facilitar o uso do contador ótico nas medidas feitas em cam po sobre aerossóis naturais.

O método do microscópio, apesar de ser muito trabalhoso, po de ser utilizado para um estudo paralelo sobre "os fatores da forma", assunto que já foi abordado neste relatório.

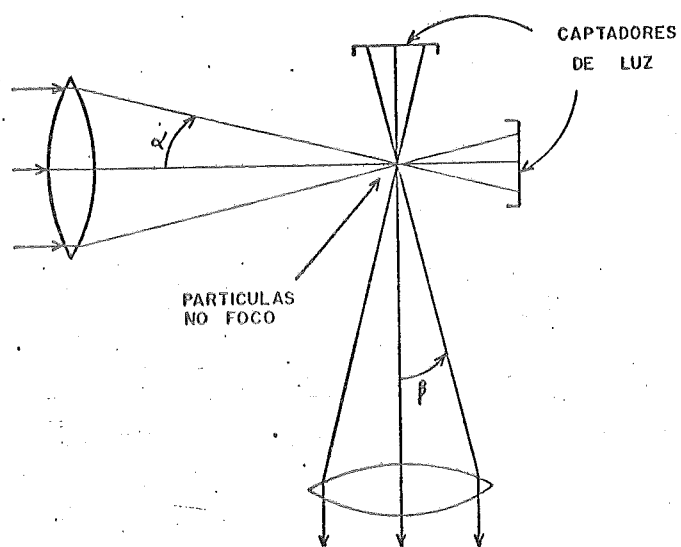
A segunda parte deste relatório tratará a fase experimental do programa para calcular "os fatores da forma", utilizando um conjunto que consiste de uma câmara de poeira, o contador ótico e o microscópio e apresentará alguns resultados preli minares.

R E F E R E N C I A S

1. MARPLE, V.A.; RUBOW, K.L. J. Aerosol Sci., 7, p.425, 1976
2. MARPLE, V.A.; WILLEKE, K. J. Colloid Interface Sci., 53, p.31, 1975
3. RAO, A.K. Ph D. Thesis, Univ. of Minnesota, 1975
4. LIU, B.Y.H.; MARPLE, V.A.; WHITBY, K.T. and BARSIC, N.J. Am. Ind. Hyg. Ass. J., 8, p.443, 1974
5. JAENICKE, R. and BLIFFORD, I.H. J. Aerosol Sci., 5, p.457 1974
6. THOMAS T. MERCER Aerosol Technology in Hazard Evaluation - Academic Press Inc., 1973
7. KOTRAPPA, P. Assessment of Airborne Particles, Fundamentals Applications and Implications of Inhalation Toxicology (Ed. T. Mercer), 1972
8. KOTRAPPA, P. Aerosol Sci., 2, p.353, 1971
9. WHITBY, K.T. and VOMELA, R.A. Env. Sci. Tec., 1, p.801, 1967
10. CARTWRIGHT, J. Am. Occup. Hyg., 5, p.163, 1962
11. WATSON, H.H. Br. J. Ind. Med., 10, p.93, 1953

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTÉCA

A) SISTEMA DE ESPALHAMENTO FORA DO EIXO



B) SISTEMA DE ESPALHAMENTO CO-AXIAL

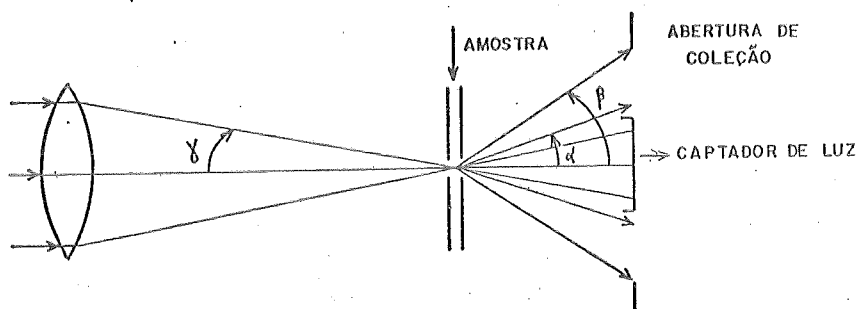


FIGURA 1 - GEOMETRIA DOS SISTEMAS DE ESPALHAMENTO NORMALMENTE UTILIZADOS EM OPC's

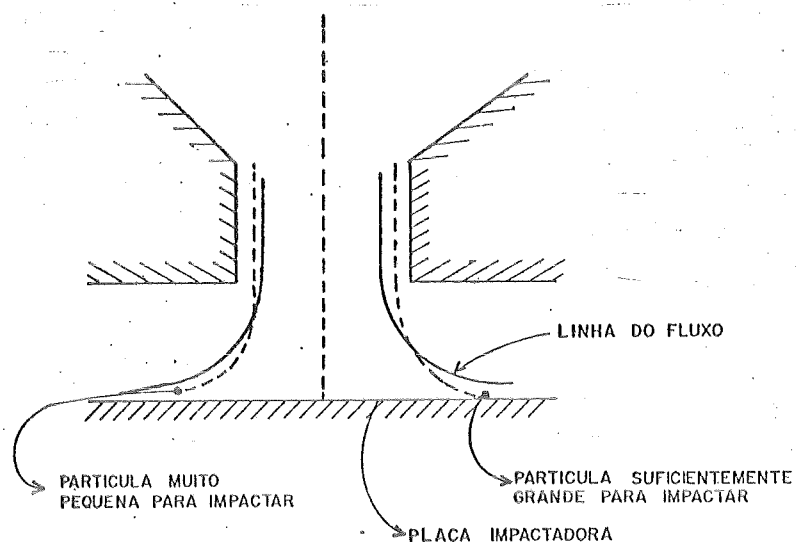


FIGURA II - LINHAS DE FLUXO E TRAJETORIAS DE PARTICULAS DE UM IMPACTADOR TIPICO

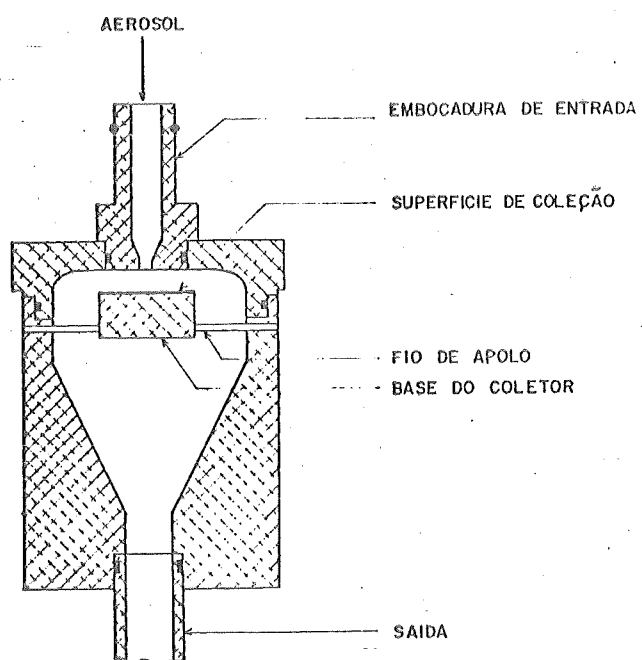


FIGURA III — O IMPACTADOR DE CALIBRAÇÃO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

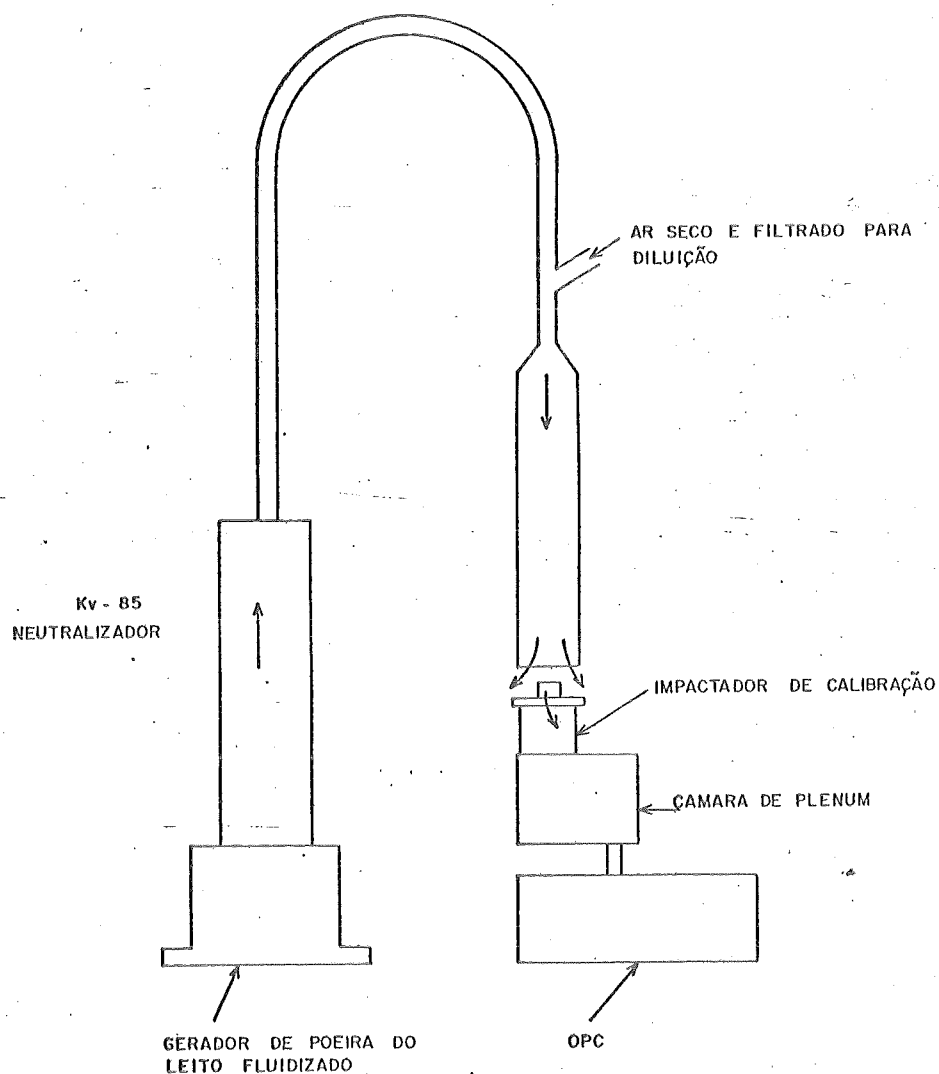


FIGURA IV - SISTEMA PARA CALIBRAÇÃO NO LABORATÓRIO DO OPC COM IMPACTADOR

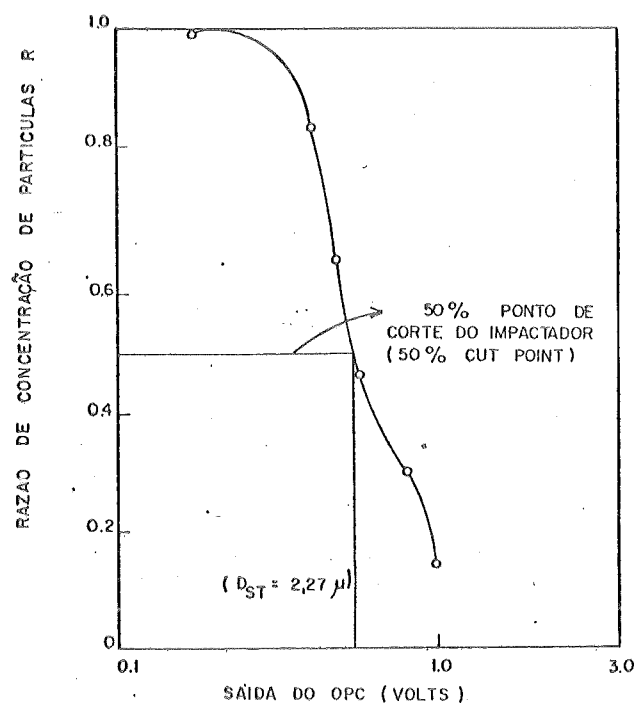


FIGURA - V CURVA TÍPICA DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO CONTRA A SAÍDA DO OPC

B I B L I O T E C A	
DEVOLVER EM	DEVOLVER EM

Data seguis.:	25/10/91
Indic.:	
Localidade:	
Página:	42
Data Tomba:	25/10/91

CENTRO TECNOLÓGICO DE SANEAMENTO BÁSICO
BIBLIOTECA

Se este livro não for devolvido dentro do prazo regulamentar, o leitor ficará sujeito às penalidades do regulamento da biblioteca.

O prazo poderá ser prorrogado se não houver pedido para este livro.