

NAO PODE SER
EMPRESTADO NEM
XEROCOPIADO



CETESB

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA
SETOR DE TREINAMENTO**

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

TÉCNICA DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE POLUENTES NA ATMOSFERA

ARQUIVO TECNICO

8304
C338t(RCET)
035619



26548



035619

**SÃO PAULO
1999**

SUMÁRIO

INSTITUTO DE CIÊNCIAS DE TECNOLOGIA E AMBIENTE AMBIENTAL
BIBLIOTECA

1. AMOSTRAGEM.....	2
1.1. Dispositivos de Medida.....	2
1.1.1. Padrões Primários.....	2
1.1.2. Padrões Intermediários.....	3
1.1.3. Padrões Secundários.....	4
1.2. Prática: Calibração do Bolhometro.....	5
1.3. Critérios para Escolha do Amostrador de Ar.....	6
1.4. Amostragem de Gases e Vapores.....	7
1.4.1. Tipos de Amostradores.....	7
1.4.1.1. Recipiente Evacuado.....	7
1.4.1.2. Deslocamento de Líquido.....	8
1.4.1.3. Amostradores Passivos.....	8
1.4.1.4. “ Denuders”	9
1.4.1.5. Sistemas Formados por Bomba, Medidor/Controlador de Vazão e Absorvedores, além de Sondas e Linhas de Amostragem (Rede Manual).....	11
1.4.1.6. Sistemas Formados por Bomba, Medidor/Controlador de Vazão, Sondas e Linhas de Amostragem, Equipamentos de Detecção Automática.....	12
1.4.2. Mecanismos de Coleta.....	13
1.4.2.1. Coleta por Absorção.....	13
1.4.2.2. Coleta por Adsorção.....	14
1.4.2.3. Coleta por Condensação.....	14
1.5. Material Particulado.....	14
1.5.1. Impactadores.....	15
1.5.1.1. Impactador de Cascata.....	15
1.5.1.2. Amostrador Andersen.....	16
1.5.1.3. Impactadores Virtuais.....	17
1.5.2. Dispositivos Tipo “ Impingers”	18
1.5.3. Ciclone.....	18
1.5.4. Precipitadores.....	19
1.5.4.1. Precipitador Eletrostático.....	19
2. PRÁTICAS – MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE SO₂ E DE MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA.....	20
2.1. NBR12979.....	20
2.1.1. SO ₂ – Titulação.....	20
2.1.2. SO ₂ – Concentração.....	20
2.2. NBR 9546.....	21
2.2.1. Princípio de Método – Reações Químicas Envolvidas.....	21
2.2.2. Padronização do Sulfito.....	22
2.3. NBR 9547.....	22
2.4. NBR 10736.....	22

1. AMOSTRAGEM

Simplificadamente, a coleta e análise dos poluentes presentes na atmosfera requer um sistema em que o poluente a ser analisado fique retido e um dispositivo capaz de medir o volume de ar no qual aquela quantidade de poluente estava contida.

1.1. DISPOSITIVOS DE MEDIDA

Os dispositivos de medida podem ser classificados, de modo geral, em três categorias: medidores de volume, medidores de vazão e medidores de velocidade. Estes dispositivos precisam ser calibrados contra medidores primários que são difíceis de colocar em linha.

1.1.1. PADRÕES PRIMÁRIOS

Padrões primários são aqueles cujos volumes podem ser conhecidos com precisão e determinados apenas pelas medidas de suas dimensões físicas internas.

- Espirômetro: mede o volume deslocado numa dada pressão e temperatura.

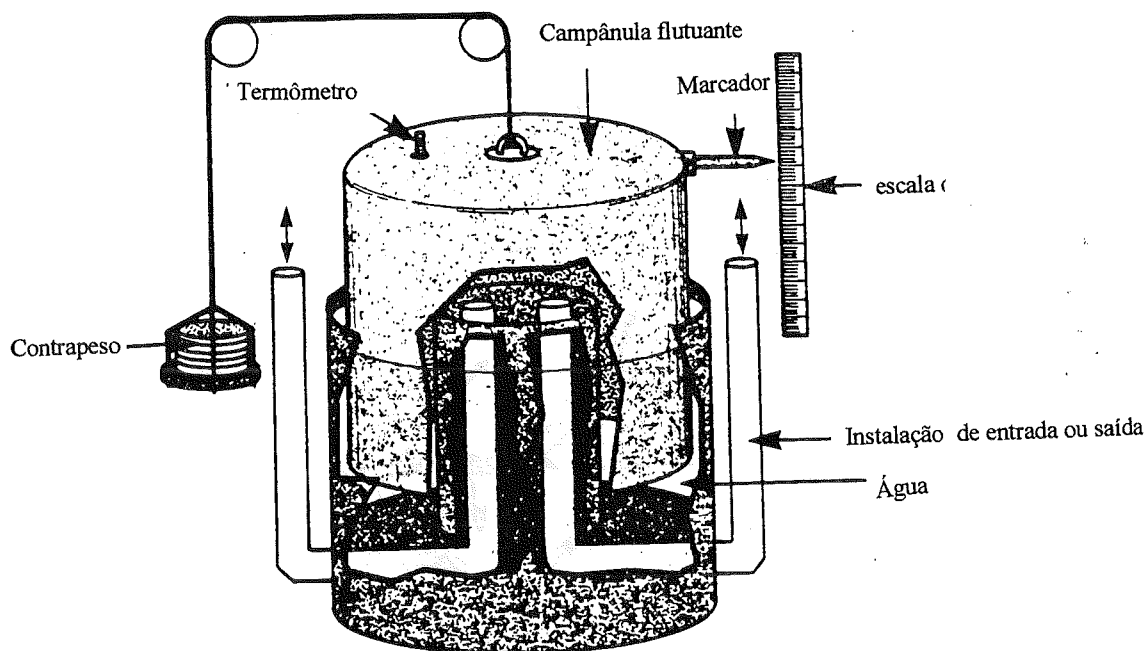


Figura 1 – Espirômetro.

- Frasco Mariot: consiste em medir o volume de líquido que deixa um frasco, em função da entrada de ar.
- Bolhometro: mede o volume percorrido por uma bolha, considerando-se pressão e temperatura.
- Tubo Pitot: mede velocidade do fluido (mais usado para amostragem em chaminé).

Caso não seja possível usar um calibrador primário, pode-se usar um calibrador intermediário que deve ser calibrado contra um medidor primário.

1.1.2. PADRÕES INTERMEDIÁRIOS

Padrões intermediários são aqueles que não podem ser facilmente calibrados pelas medidas de suas dimensões físicas.

- “Wet test”: consiste de uma série de recipientes invertidos, montados ao redor de um eixo e parcialmente imersos em água. A localização da entrada e da saída de gás é tal que o gás que entra enche um dos recipientes, deslocando a água. O recipiente cheio de gás se move para cima e o ar sai pela parte superior do cilindro enquanto o recipiente fica novamente cheio de água. Esta rotação move um ponteiro que registra o volume de gás que passa pelo medidor.

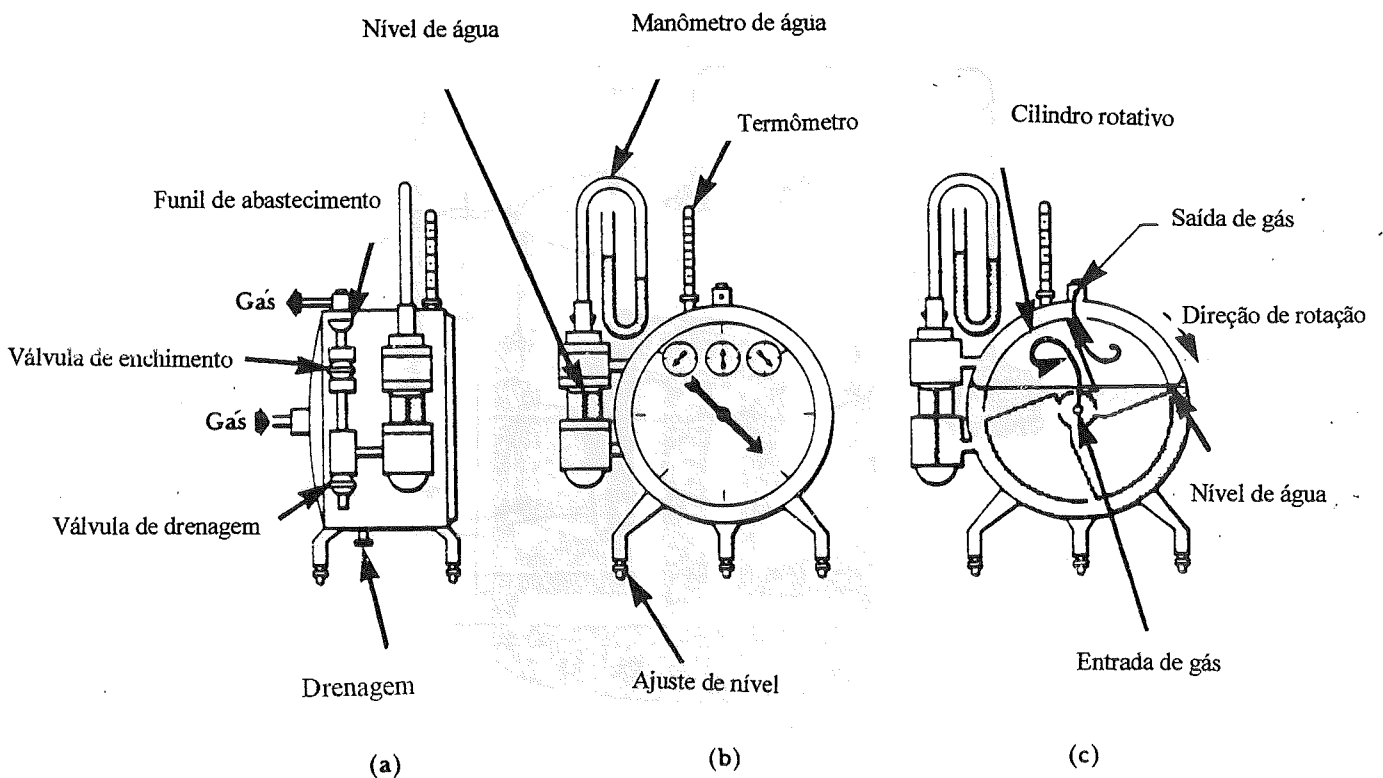


Figura 2 – “Wet Test”.

- “Rootsmeter”: funciona como uma bomba de deslocamento positivo, isto é, um conjunto de engrenagens através do qual se transporta sempre um volume bem definido. Esse equipamento é usado para calibrar o orifício do calibrador padrão de vazão.

1.1.3. PADRÕES SECUNDÁRIOS

Padrões secundários são aqueles calibrados contra padrões primários e intermediários sob condições conhecidas de temperatura e pressão.

- Rotâmetro: medidor de vazão de área variável, isto é, a área de restrição muda com o fluxo.

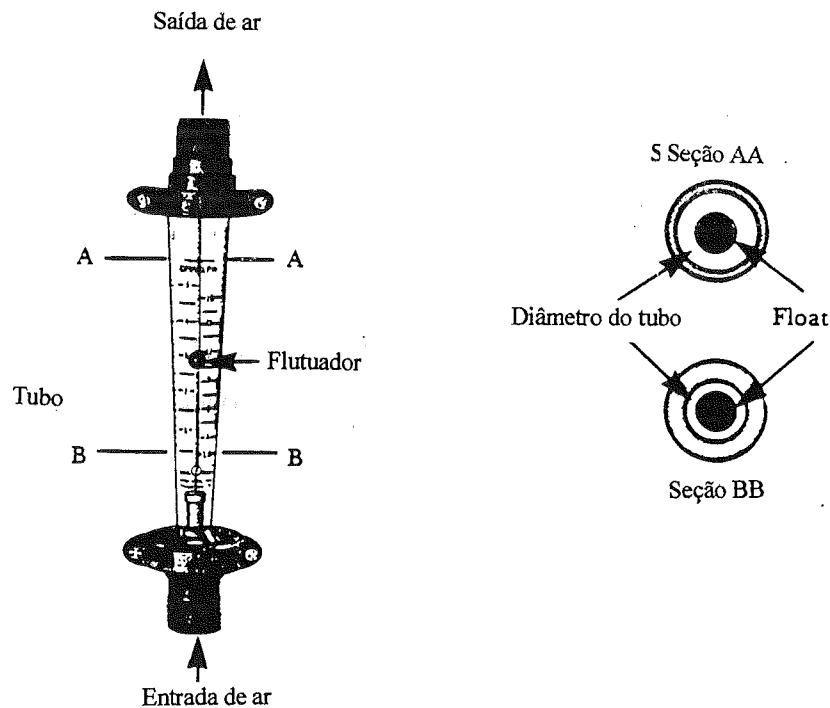


Figura 3 – Rotâmetro.

- Placa de orifício: medidor de pressão variável, isto é, a queda de pressão medida a montante e a jusante pode ser correlacionada com a vazão.

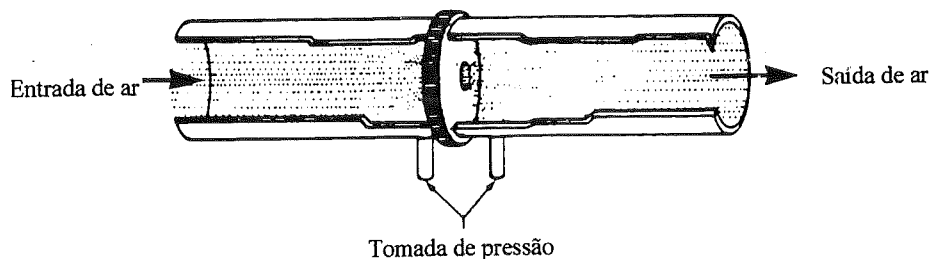


Figura 4 – Placa de Orifício.

- Orifício crítico: se a queda de pressão aumenta até que a pressão a jusante seja 0,53 vezes a pressão a montante, a velocidade do gás passa a ser igual à velocidade do som e qualquer redução de pressão a jusante ou aumento de pressão a montante não afeta a vazão.

- Venturi: consiste de uma entrada cilíndrica, um cone, uma garganta cilíndrica e um cone difusor. Duas saídas, uma na entrada e outra na garganta, servem para medir a diferença de pressão. Não há mudança de pressão abrupta, como no orifício, por isso o fluxo não sofre turbulência. É calibrado como o orifício.

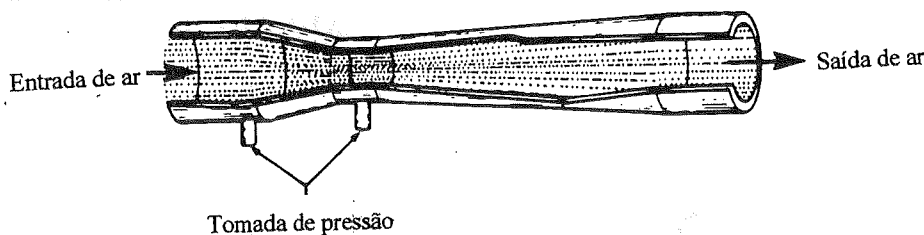


Figura 5 – Medidor Venturi.

1.2. PRÁTICA: CALIBRAÇÃO DO BOLHÔMETRO

- Fixe o bolhômetro, conforme mostra a figura, adaptando um restritor de fluxo na ponta.
- Obtenha um balão volumétrico, com tampa, de tamanho apropriado ao volume do bolhômetro.
- Determine a massa do frasco (P1), com as seguintes precisões:
 - Frasco de 100 mL - 0,01g
 - b) Frasco de 1000 mL - 0,1g
- Registre a massa (P1) na coluna correspondente (Tabela 1)
- Encha o bolhômetro com água destilada, deixe escorrer até que todas as bolhas sejam removidas. Colete esta água em um béquer e despreze-a.
- Encha o bolhômetro até que o menisco coincida com a marca
- Determine a temperatura da água contida no bolhômetro e registre o valor.
- Transfira o volume de água entre as duas marcas para o frasco já pesado (etapa 4), e imediatamente tampe o frasco.
- Pese o frasco com água (P2) e anote na coluna correspondente.
- Repita as etapas 3 a 9 por duas vezes.
- Calcule o volume transferido, usando a equação

$$V_t = P_2 - P_1 / D_r$$

Onde, V_t = volume de água transferido (mL)

P_2 = Massa final da água + frasco (g)

P_1 = massa inicial do frasco (g)

D_r = densidade relativa da água para a temperatura de calibração
(ANEXO 1)

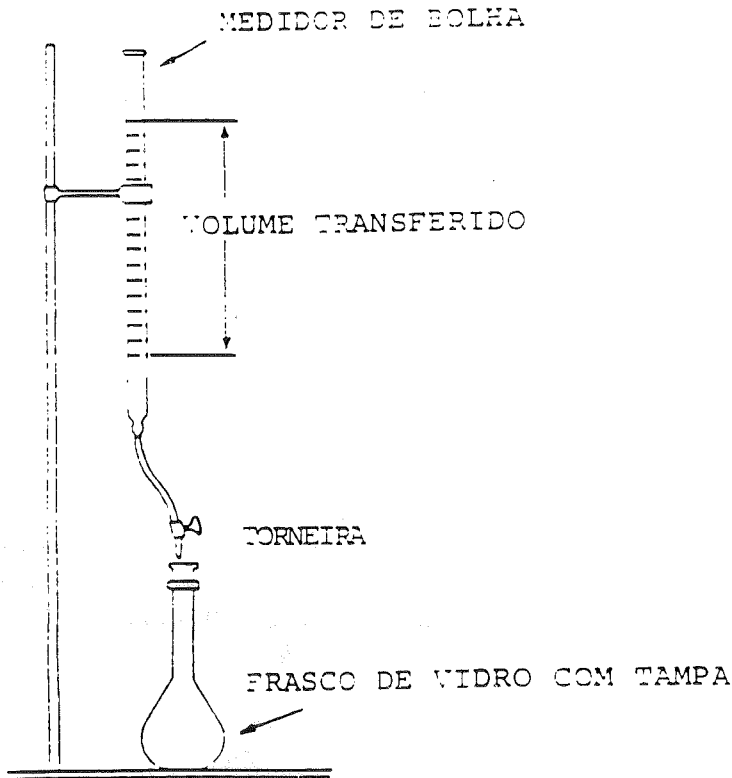


Figura 6 – Aparato para calibração do bolhómetro.

Medidor nº :

Data: / /

Volume transferido: 100mL

calibrado por:

TABELA 1 – DADOS DE CALIBRAÇÃO DO BOLHÔMETRO				
CALIBRAÇÃO	TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)	MASSA INICIAL DO FRASCO (P1)(g)	MASSA FINAL DO FRASCO (P2) (g)	VOLUME TRANSFERIDO REAL (mL)
1				
2				
3				

1.3. CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO AMOSTRADOR DE AR

Uma vez que não há apenas um tipo de amostrador, a seleção do equipamento é um item muito importante de qualquer esquema de amostragem de ar. Alguns aspectos que devem ser considerados antes da seleção são:

- **Concentração do Poluente e Tempo de Amostragem**

A vazão é, freqüentemente, determinada pela sensibilidade do método de análise, que, por sua vez, estabelece a quantidade mínima de contaminante requerida para análise. Por exemplo, se o procedimento requer 10 µg de material para que se tenha a precisão desejada, e se o ar contém 1 µg/m³ do poluente, será necessário um volume de 10 m³, assumindo-se 100% de eficiência de coleta. A vazão requerida pode ser calculada determinando-se o tempo de amostragem e o volume de amostra requerido. A quantidade de amostra deve ser maior que a mínima detectável e menor que a concentração que teoricamente satura o meio de coleta. Deve-se levar sempre em conta a eficiência de coleta.

- **Vazão**

Em alguns casos é necessário amostrar em determinada vazão para assegurar a eficiência de coleta. Por exemplo, na coleta de uma amostra por meio de reação química, a cinética de reação depende do tempo que o contaminante está em presença da substância reagente, e o tempo de contato depende da vazão de amostragem. Outros exemplos incluem a coleta de material particulado usando-se impingers ou impactadores. O tamanho da partícula depende da velocidade de aproximação, a qual, por sua vez, depende da vazão.

- **Natureza Física e Química do Ar a ser Amostrado**

É preciso avaliar as características do ar e dos contaminantes a serem amostrados. Ar de natureza corrosiva ou abrasiva pode criar problemas no equipamento, a menos que as partes internas do mesmo sejam não reativas.

- **Manutenção**

É uma consideração muito importante no caso de equipamentos usados em campo.

1.4. AMOSTRAGEM DE GASES E VAPORES

1.4.1. TIPOS DE AMOSTRADORES

1.4.1.1. RECIPIENTE EVACUADO

Consiste em um bulbo/ recipiente do qual foi removido o ar. É adequado para amostragem de CO₂, O₂, CH₄, C, CO, H₂ e N₂ na atmosfera. Não é adequado para determinação de gases muito reativos, como H₂S, NO_x, SO₂, pois estes gases podem reagir com partículas de poeira, umidade, selante e, em alguma extensão, mesmo com o material do frasco. Um tipo especial de recipiente evacuado pode ser usado para a coleta de amostras diretamente em uma solução absorvente, na qual o gás se dissolve e fica preservado até ser determinado por análise química.

- Exemplo de utilização: “canisters” para determinação de compostos orgânicos voláteis.

1.4.1.2. DESLOCAMENTO DE LÍQUIDO

A drenagem de um líquido de um frasco, por gravidade, cria vácuo dentro do frasco e, portanto, o ar é sugado para dentro de modo a preencher o volume deslocado. O volume de amostra fica limitado ao volume do líquido contido no frasco. Desta forma, apenas uma amostra relativamente pequena pode ser coletada por este método. O gás a ser analisado não deve interagir com as paredes do frasco.

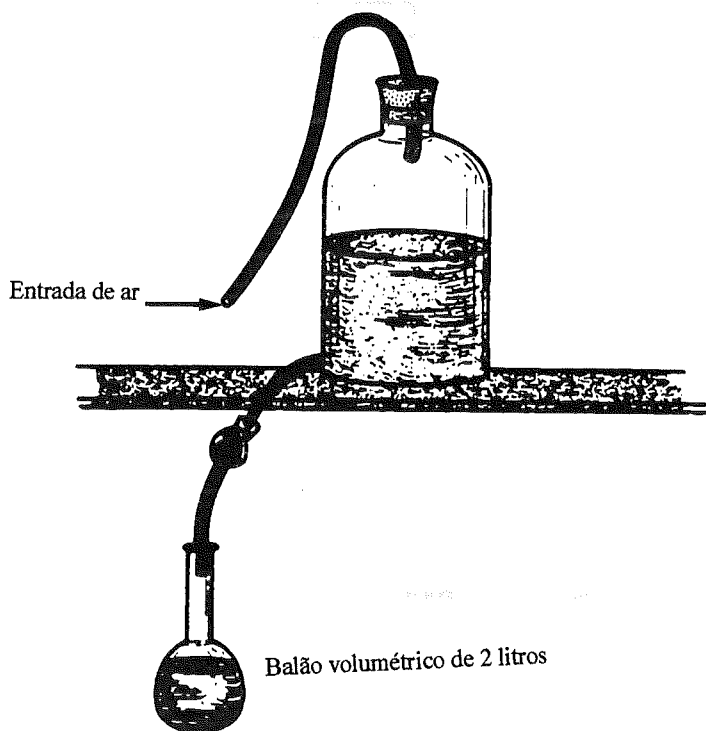
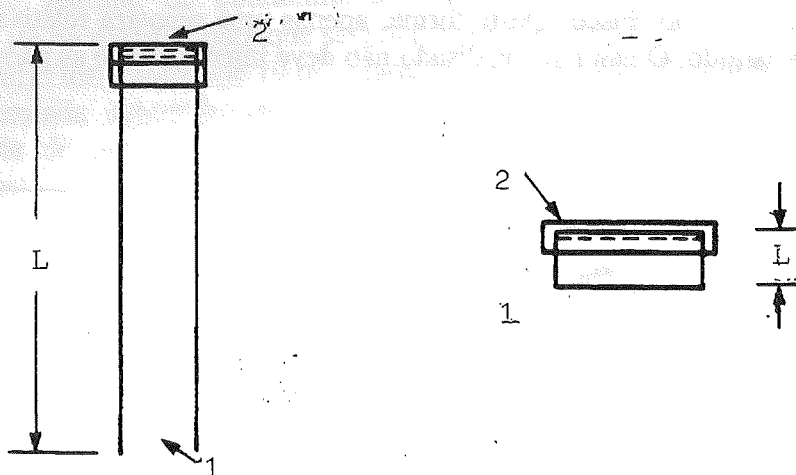


Figura 7 – Deslocamento de Líquido.

1.4.1.3. AMOSTRADORES PASSIVOS

Amostradores passivos são definidos como aqueles onde não se utiliza energia elétrica ou qualquer mecanismo de propulsão para coleta. Seu princípio de coleta é baseado na capacidade de difusão das espécies gasosas presentes na atmosfera e nas suas reações com meios absorventes adequados.

- Exemplos de utilização: são bastante utilizados nas determinações de SO_2 , O_3 e NO_2 na atmosfera.



- L - comprimento do tubo
- 1 - filtro membrana
- 2 - filtro absorvente

Figura 8 – Amostrador Passivo.

1.4.1.4. “DENUDEERS”

O princípio de separação de gás/partícula usado nesta técnica de amostragem baseia-se nos diferentes graus de difusão dos gases e partículas. Na passagem da mistura gás/partícula (aerossol) em fluxo laminar através de um tubo, o gás de interesse difunde para as paredes de um tubo revestido de tal modo que as espécies moleculares sofrem sorção irreversível ou reações químicas sendo removidas do fluxo de gás. Particulados que apresentam velocidades de difusão bem inferiores não migram para as paredes do tubo durante o seu período de trânsito e podem ser coletados sobre um filtro acoplado à saída do tubo. Para evitar a deposição de partículas por sedimentação, posiciona-se o tubo “denuder” em posição vertical podendo-se, também, empregar ciclones e impactadores virtuais para remover o material particulado maior.

- Exemplos de utilização: a técnica do “denuder” é usada para a análise de grande número de compostos na atmosfera: HCl, HF, HNO_x, H₂SO₄, ácidos carboxílicos, traços de componentes orgânicos, NO_x, SO_x, NH₃, NH₄Cl, etc..

Tubo de vidro impregnado com bicarbonato de sódio
para separação e coleta de fluoretos sólidos e gasosos

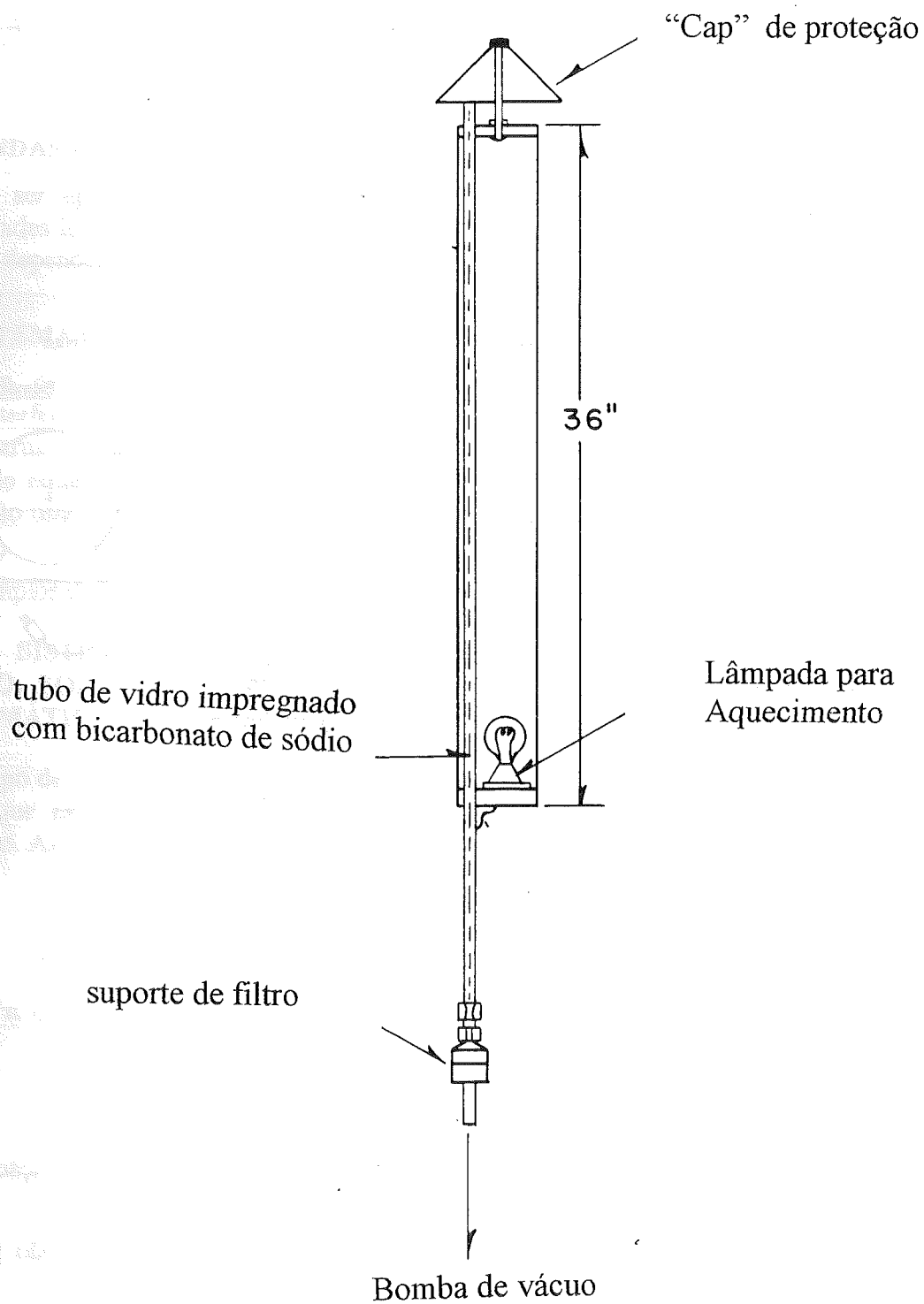


Figura 9 --- "Denuder".

1.4.1.5. SISTEMAS FORMADOS POR BOMBA, MEDIDORES/ CONTROLADORES DE VAZÃO E ABSORVEDORES, ALÉM DE SONDAS E LINHAS DE AMOSTRAGEM (REDE MANUAL)

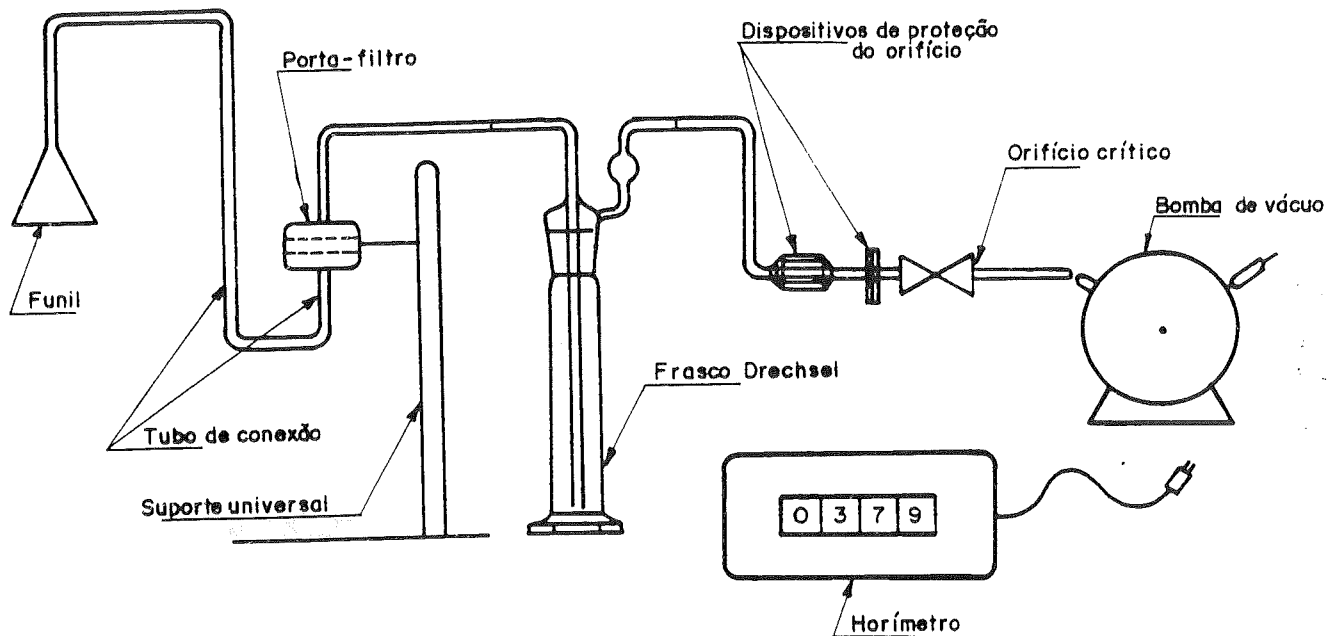


Figura 10 – Sistema de Amostragem.

Dentre as inúmeras técnicas de amostragem, aqui são de interesse procedimentos onde o ar é aspirado ocorrendo separação das espécies. O sistema de amostragem é formado por:

A) BOMBAS

- mecânicas: no caso de períodos de operação prolongados (motores de indução: operação uniforme, a despeito de variações na linha de força)
- manuais: quando são amostrados pequenos volumes e quando a vazão de gás não precisa ser constante .
- Sifões: podem ser usados quando são adequados pequenos volumes e são necessárias vazões muito baixas.

B) MEDIDORES/ CONTROLADORES:

- medidores de volume: têm a vantagem de variações na vazão de amostragem não introduzirem grandes erros.
- medidores de vazão: requerem cuidadosa observação e determinação precisa do tempo de amostragem.

C) ABSORVEDORES

- borbulhadores ou colunas de absorção, cuja eficiência de absorção seja aceitável (em geral, maior que 90%).

D) SONDAS E LINHAS DE AMOSTRAGEM

Devem ser apropriadas para as condições de amostragem e não devem absorver ou adsorver quantidades importantes do contaminante. Em geral, vidro, alguns plásticos (teflon, silicone, etc.), ou metais, dependendo das propriedades e da finalidade.

F) SISTEMA DE PRÉ-FILTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO

A coleta de material particulado junto com gases e vapores pode ser indesejável pois o particulado pode interferir na análise química realizada posteriormente, o particulado pode interferir nas medições por obstruir orifícios, etc.. Assim, devem ser removidos por filtração. O filtro deve ser colocado à frente do equipamento de coleta e deve não reagir e nem absorver os gases a serem amostrados (em geral, são usados filtros de fibra de vidro, filmes plásticos porosos, papel etc.).

- Exemplos de utilização: SO₂, NH₃, aldeídos, etc.

1.4.1.6. SISTEMAS FORMADOS POR BOMBA, MEDIDORES/ CONTROLADORES DE VAZÃO, SONDAS E LINHAS DE AMOSTRAGEM, EQUIPAMENTOS DE DETECÇÃO AUTOMÁTICA (REDE AUTOMÁTICA)

Neste tipo de sistema, a coleta e a análise são realizadas em períodos de tempo muito pequenos, de tal forma que este tempo é considerado insignificante em comparação com a duração do período estudado. Alguns equipamentos utilizados na rede automática são relacionados a seguir:

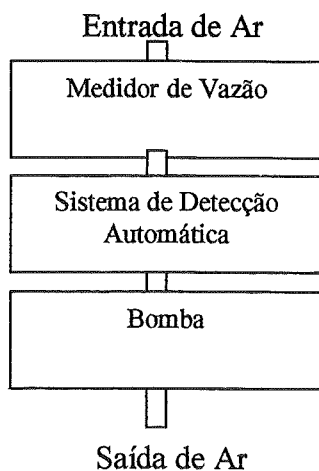


Figura 11 – Esquema do Sistema de Amostragem.

- SO₂: monitor com detector de fluorescência pulsante.
- NO_x: monitor com detector de quemiluminescência
- CO: monitor com detector infravermelho não dispersivo
- O₃: monitor fotométrico de UV

- Metano e Hidrocarbonetos não metano: monitoramento por cromatografia a gás com detector de ionização de chama.

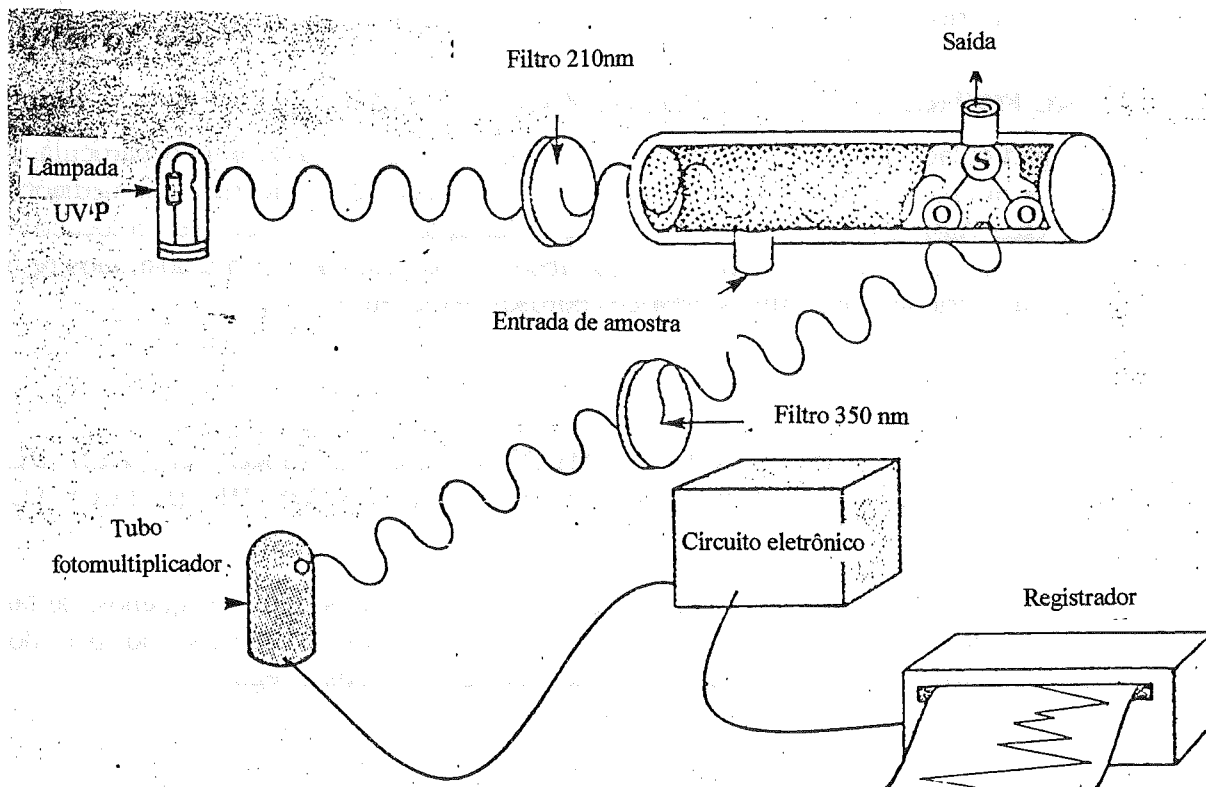


Figura 12 – Monitor de SO_2 por fluorescência.

1.4.2. MECANISMOS DE COLETA

1.4.2.1. COLETA POR ABSORÇÃO

A absorção é o processo de transferência de um ou mais componentes gasosos para um meio líquido ou sólido, no qual eles se dissolvem. No caso de líquido absorvente, é importante considerar o grau de contato entre o gás amostrado e a solução absorvente (determinado pelo tamanho das bolhas), a duração do contato (determinada pelo caminho a ser percorrido através do absorvente e pela vazão), as taxas de difusão entre as fases líquida e gasosa (coeficiente de transferência de massa), solubilidade do contaminante no absorvente, volatilidade do contaminante, concentração do reagente na solução absorvente, volume de ar amostrado.

A absorção de poluentes gasosos em solução é freqüentemente utilizada em amostragem atmosférica em razão dos vários métodos disponíveis para análise da solução resultante, tanto manuais quanto automáticos, que incluem técnicas titulométricas, fotométricas, condutométricas, etc..

1.4.2.2. COLETA POR ADSORÇÃO

Qualquer gás ou vapor irá aderir, em determinado grau, a qualquer superfície sólida em temperaturas usuais ou baixas. Este fenômeno é chamado adsorção. Vários sólidos porosos apresentam características adequadas para serem usados como adsorventes, por exemplo, carvão ativado, sílica gel, alumina ativada, etc.. Eles diferem no número e tipos de substâncias que adsorvem, bem como na quantidade de substância que conseguem reter.

1.4.2.3. COLETA POR CONDENSAÇÃO

A concentração de gases e vapores atmosféricos por condensação a baixas temperaturas apresenta vantagens sobre outros métodos de concentração. Em primeiro lugar, o material coletado está imediatamente disponível para separação ou análise, não requerendo a remoção de um solvente ou dessorção de um adsorvente. A condensação é um método que preserva os gases e vapores coletados, sem reação química com qualquer parte do frasco de coleta. Quase sempre, também são condensadas grandes quantidades de água junto com o material coletado, o que, em geral, não representa um problema, pois a separação é simples.

1.5. MATERIAL PARTICULADO

A distribuição das partículas em faixas de tamanho é de interesse em razão dos seus efeitos para a saúde. Partículas de cerca de 10 μm ou maiores, são removidas do ar inalado no nariz e na garganta e, portanto, não alcançam os pulmões. Partículas menores que 10 μm atingem o trato respiratório mais profundamente.

As partículas no ar estão distribuídas bimodalmente com relação aos tamanhos das partículas. Esta distribuição apresenta picos a $\cong 0,4\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$. Uma porção significativa das partículas maiores é proveniente de processos naturais. As partículas menores são, geralmente, de origem antropogênica (produtos de combustão e perdas de processos industriais). Assim, a maior parte das partículas provenientes de atividades humanas pode ser inalada e atingir o sistema respiratório mais profundo, podendo causar danos à saúde.

As técnicas de coleta envolvem a remoção de partículas da corrente de ar sendo a filtração e a impactação os dois métodos principais. A filtração consiste na coleta de partículas em uma superfície filtrante por três processos principais: interceptação direta, impactação inercial e difusão. A filtração consegue remover uma grande parcela da massa e do número de partículas por estes 3 processos. Qualquer classificação de tamanho é feita por um pré classificador, como um impactador, por exemplo, antes que a corrente de ar em que está a partícula alcance a superfície do filtro.

A seguir são citados alguns separadores/amostradores freqüentemente usados nas determinações de material particulado no ar.

1.5.1. IMPACTADORES

1.5.1.1. IMPACTADOR DE CASCATA

Consiste de vários estágios de impactação em série. Cada estágio sucessivo contém um orifício menor do que o anterior e localizado mais perto da superfície de coleta. Este arranjo aumenta a velocidade do aerossol e aumenta o ângulo de deflexão em cada estágio, resultando uma maior eficiência de coleta para partículas de tamanho decrescente através de cada estágio do impactador

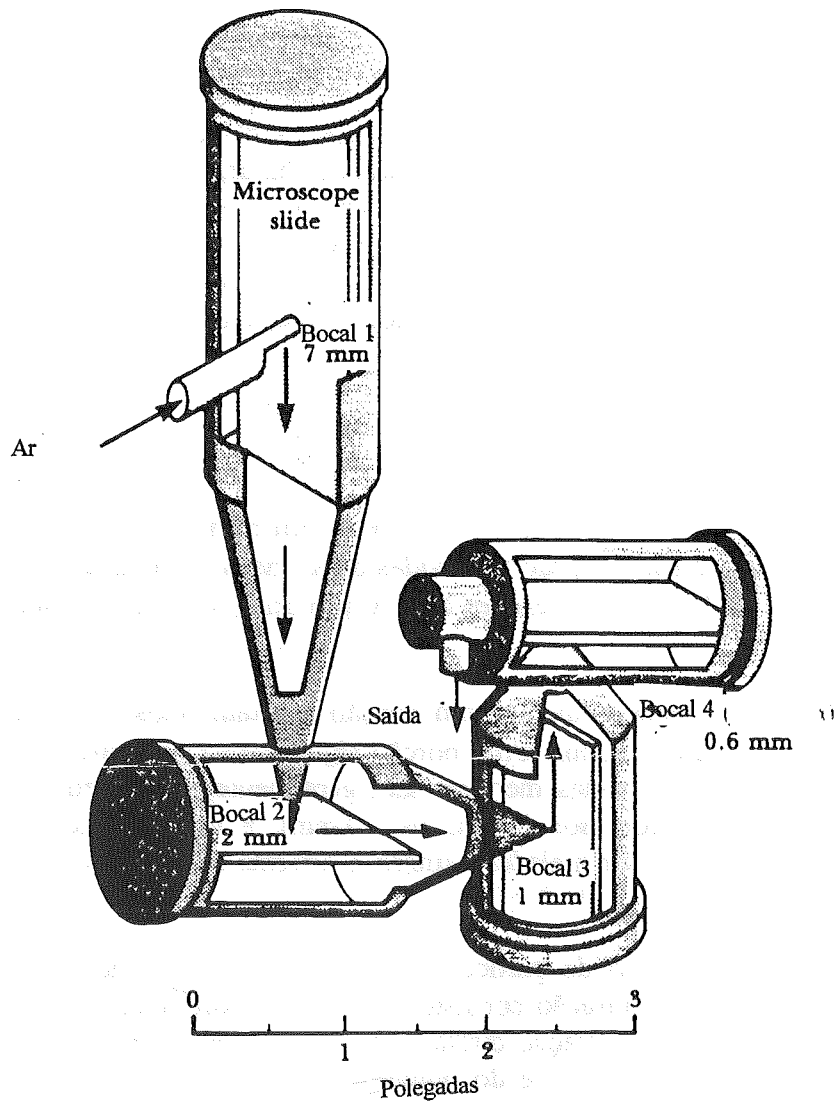


Figura 13 – Esquema de um Impactador de Cascata.

1.5.1.2. AMOSTRADOR ANDERSEN

Um exemplo de impactador de cascata é o amostrador Andersen. Este amostrador contém, normalmente, 6 a 8 estágios com numerosos orifícios, sucessivamente menores e igualmente distribuídos em cada estágio. A vazão é mantida constante, aumentando a velocidade da corrente de aerossol em cada estágio, resultando, assim, na deposição de partículas separadas em frações de tamanho. A maior limitação do amostrador Andersen é a vazão relativamente baixa, $0,028 \text{ m}^3/\text{min}$, que deve ser mantida, limitando a quantidade de amostra que pode ser coletada.

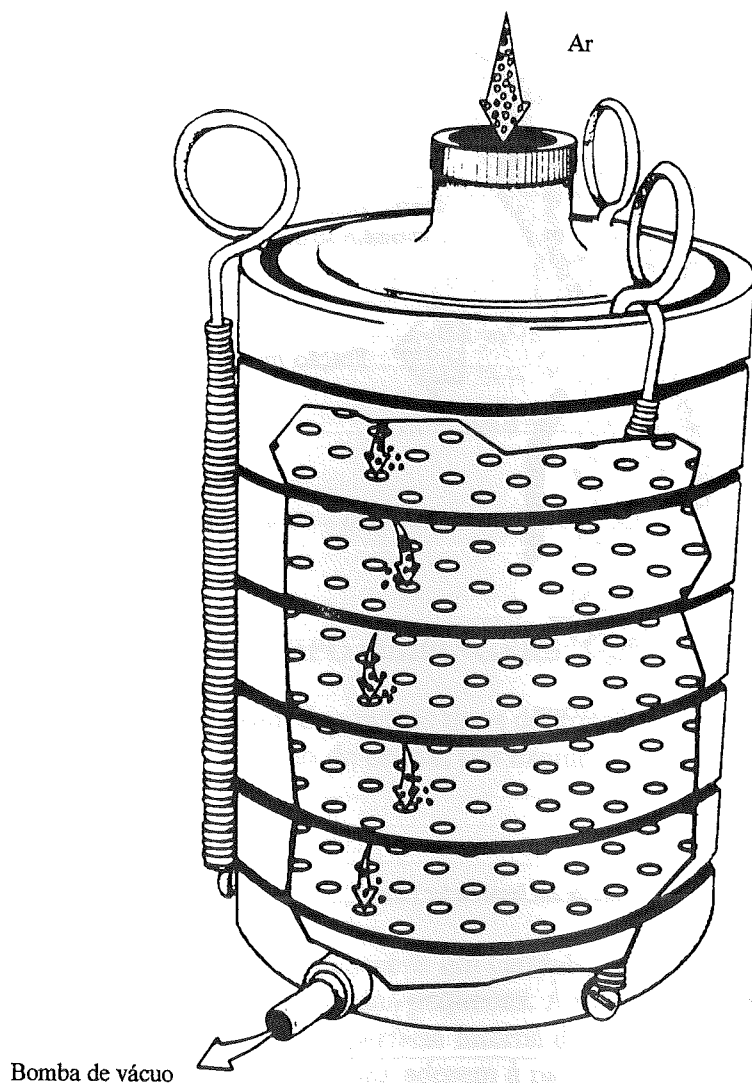


Figura 14 - Esquema de um Impactador Andersen.

1.5.1.3. IMPACTADORES VIRTUAIS

Nos impactadores virtuais, em vez de as partículas maiores impactarem contra uma superfície sólida, ela impactam em uma corrente de ar mais lenta, sendo coletadas em um filtro. Assim, estas partículas impactam em uma superfície virtual. Como se observa na figura 15, as partículas menores seguem a corrente de maior vazão e as partículas grossas são impactadas na corrente de menor vazão. Uma pequena fração das partículas finas é impactada e coletada com as partículas grossas. Isto pode ser corrigido matematicamente quando se determinam as concentrações de particulado grosso e fino. Um exemplo de impactador virtual é o dicotômico, que, como o próprio nome diz, separa as partículas em 2 faixas de tamanho, partículas finas (diâmetro aerodinâmico $< 2,5 \mu\text{m}$) e partículas grossas ($2,5$ a $10 \mu\text{m}$).

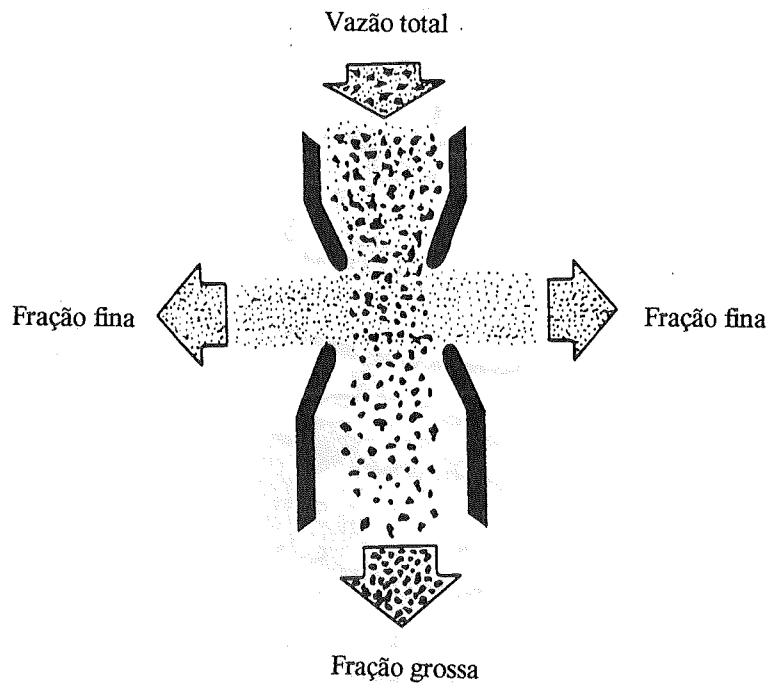


Figura 15 – Esquema de um Impactador Virtual.

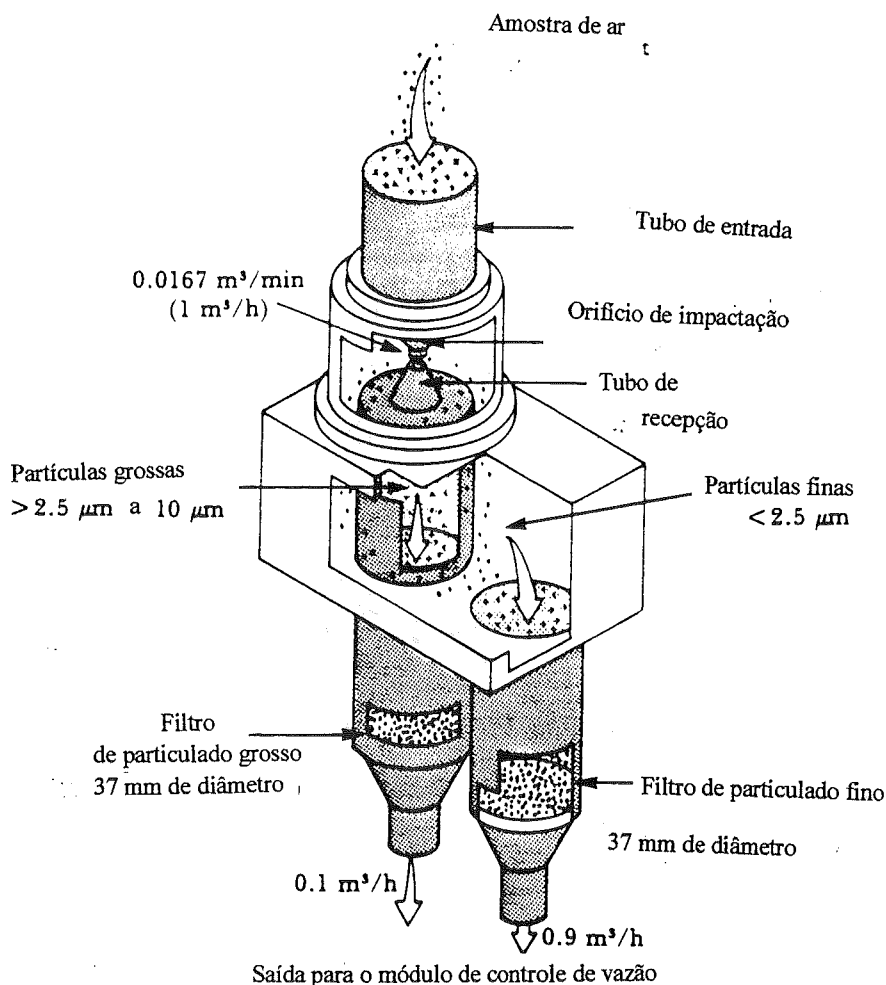


Figura 16 - Diagrama do Módulo de Amostragem de um Amostrador Dicotômico.

1.5.2. DISPOSITIVOS TIPO "IMPINGERS"

Estes dispositivos diferem dos outros tipos de impactadores pois o orifício e a superfície de impactação ficam imersos em um fluido de coleta, por exemplo água, no qual ficam retidas as partículas removidas da corrente de aerossol.

1.5.3. CICLONE

O ar que passa pelo ciclone descreve um caminho helicoidal de raio decrescente, aumentando, assim, a eficiência de coleta para partículas pequenas. À medida que a corrente de gás flui através do ciclone, as partículas são separadas na superfície interna da parede pela força centrífuga criada. Na maior parte destes amostradores, as partículas aderem à parede ou caem num espaço de coleta abaixo do canal do ciclone.

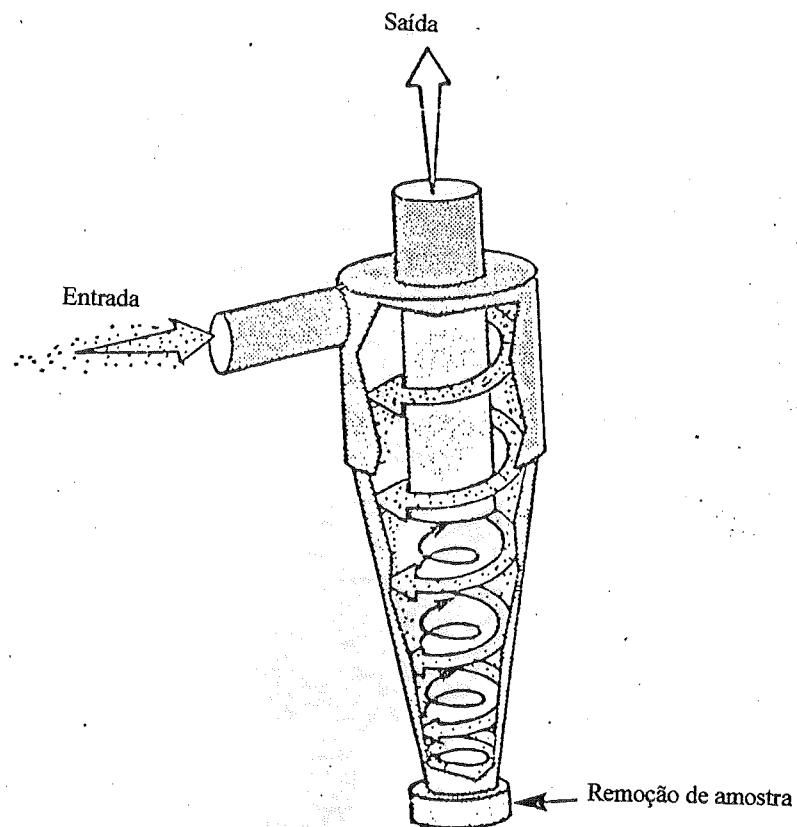


Figura 17 – Amostrador Ciclone.

1.5.4. PRECIPITADORES

1.5.4.1. PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO

Separação do material particulado do ar ou de outros gases sob influência de um campo eletrostático.

2. PRÁTICAS - MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE SO₂ E DE MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA)

2.1. NBR 12979

Atmosfera – Determinação da concentração de dióxido de enxofre pelo método do peróxido de hidrogênio.

2.1.1. SO₂ – TITULAÇÃO



$$1 \text{ eq.g Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \approx 1 \text{ eq.g H}_2\text{SO}_4$$

$$n_{\text{eq}} = N \cdot V(\text{L}) \text{ e } n_{\text{eq}} = \frac{m(\text{g})}{\text{Eq}}$$

$$n_{\text{eq}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = n_{\text{eq}}(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$N_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7} \cdot V_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}(\text{mL}) = m_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{mg}) / \text{Eq}_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{mg})$$

Assim,

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{mg}) = N_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7} \cdot V_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}(\text{mL}) \cdot \text{Eq}_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{mg})$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{mg}) = 0,004 \cdot V_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}(\text{mL}) \cdot 49$$

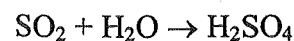
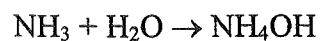
$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{mg}) = 0,196 \cdot V_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}(\text{mL})$$

$$m_{\text{SO}_2}(\text{mg}) = m_{\text{H}_2\text{SO}_4}(\text{mg}) \cdot (\text{PM}_{\text{SO}_2} / \text{PM}_{\text{H}_2\text{SO}_4})$$

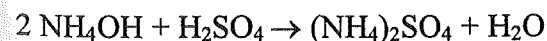
$$m_{\text{SO}_2}(\text{mg}) = V_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}(\text{mL}) \cdot 0,196 \cdot (64/98)$$

$$m_{\text{SO}_2}(\text{mg}) = 0,128 \cdot V_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7}(\text{mL})$$

2.1.2. SO₂ – CORREÇÃO DE AMÔNIO



O NH₃ presente no ar ficará retido na solução absorvente como NH₄OH neutralizando o H₂SO₄, de acordo com a reação:



1 eq. g de NH₄OH reage com 1 eq. g de SO₂

$$mSO_2 = mNH_3 \cdot PM_{SO_2}/PM_{NH_3}$$

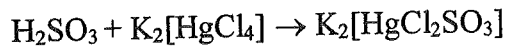
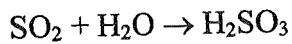
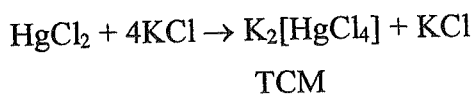
$$mSO_2 = mNH_3 \cdot (64/34)$$

$$mSO_2 = mNH_3 \cdot 1,88$$

2.2. NBR 9546

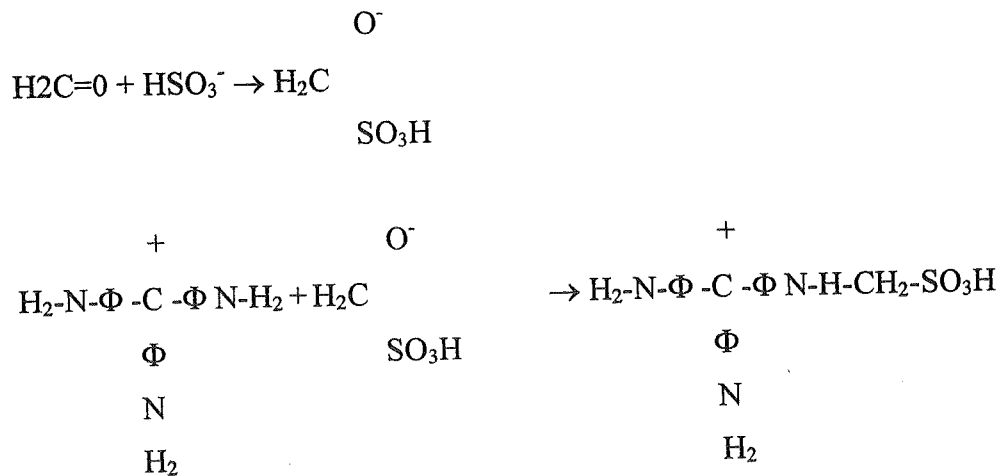
Dióxido de enxofre no ar ambiente – determinação da concentração pelo método da pararrosanilina

2.2.1. PRINCÍPIO DO MÉTODO – REAÇÕES QUÍMICAS ENVOLVIDAS



$K_2[HgCl_2SO_3]$: diclorossulfito mercurato de potássio – este complexo resiste à oxidação pelo ar e é estável frente a oxidantes fortes.

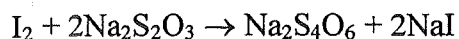
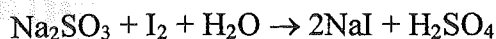
O diclorossulfito mercurato reage com PRA e formaldeído



PRA: pigmento derivado do trifenilmetano. Seus sistemas conjugados apresentam absorção no espectro visível

Ácido metil pararrosanilina sulfônico

2.2.2. PADRONIZAÇÃO DO SULFITO



$$C_{\text{SO}_2} \text{ (mg/mL)} = m_{\text{SO}_2} / V_{\text{solução}}$$

$$1 \text{ eq.g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \approx 1 \text{ eq.g SO}_2$$

$$N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = m_{\text{SO}_2} / \text{Eq}_{\text{SO}_2}$$

$$C_{\text{SO}_2} \text{ (mg/mL)} = N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot \text{Eq}_{\text{SO}_2} / V_{\text{solução}}$$

$$C_{\text{SO}_2} \text{ (mg/mL)} = (\text{VB} - \text{VA}) \cdot 32 \cdot N / 25$$

A amostra foi diluída 50 vezes (2mL/100mL), logo, o fator de diluição é $1/50 = 0,02$

Assim,

$$C_{\text{SO}_2} \text{ (}\mu\text{g/mL)} = (\text{VB} - \text{VA}) \cdot 32000 \cdot N \cdot 0,02 / 25$$

2.3. NBR 9547

Material particulado em suspensão no ar ambiente – determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume

2.4 NBR 10736

Material particulado em suspensão na atmosfera – determinação da concentração de fumaça pelo método de refletância da luz.

ANEXO 1

RELATIVE DENSITY AND VOLUME OF WATER* AND OF MERCURY AT VARIOUS TEMPERATURES

*These values are based upon the mass of one milliliter of water at 4°C. as unity. To convert to absolute density in C. G. S. units multiply the value for relative density by 0.999973.

WATER		MERCURY		
Temp. Degree C.	Relative Density g/ml	Volume ml/g	Temp. Degree C.	
-20	0.9815	1.00186	-20	0.0732869
-19	0.9843	1.00157	-19	0.0733002
-18	0.9869	1.00131	-18	0.0733135
-17	0.9892	1.00108	-17	0.0733268
-16	0.9912	1.00088	-16	0.0733402
-15	0.9930	1.00070	-15	0.0733535
-14	0.9945	1.00055	-14	0.0733670
-13	0.9958	1.00042	-13	0.0733805
-12	0.9970	1.00031	-12	0.0733940
-11	0.9981	1.00021	-11	0.0734074
-10	0.9991	1.00013	-10	0.0734205
-9	0.9999	1.00007	-9	0.0734338
-8	1.0000	1.00003	-8	0.0734472
-7	0.9999	1.00001	-7	0.0734608
-6	0.9997	1.00000	-6	0.0734739
-5	0.9994	1.00001	-5	0.0734873
-4	0.9990	1.00003	-4	0.0735006
-3	0.9985	1.00004	-3	0.0735140
-2	0.9979	1.00002	-2	0.0735273
-1	0.9972	1.00000	-1	0.0735407
0	0.9964	1.00000	0	0.0735540
1	0.9955	1.00001	1	0.0735674
2	0.9945	1.00003	2	0.0735808
3	0.9934	1.00001	3	0.0735943
4	0.9922	1.00000	4	0.0736075
5	0.9909	1.00001	5	0.0736209
6	0.9895	1.00003	6	0.0736342
7	0.9880	1.00007	7	0.0736476
8	0.9864	1.00012	8	0.0736610
9	0.9847	1.00019	9	0.0736746
10	0.9829	1.00027	10	0.0736877
11	0.9810	1.00037	11	0.0737011
12	0.9790	1.00048	12	0.0737145
13	0.9769	1.00060	13	0.0737278
14	0.9747	1.00073	14	0.0737412
15	0.9724	1.00087	15	0.0737546
16	0.9700	1.00103	16	0.0737680
17	0.9675	1.00120	17	0.0737813
18	0.9649	1.00138	18	0.0737947
19	0.9622	1.00157	19	0.0738081
20	0.9594	1.00177	20	0.0738215
21	0.9565	1.00198	21	0.0738348
22	0.9535	1.00221	22	0.0738482
23	0.9504	1.00244	23	0.0738617
24	0.9472	1.00268	24	0.0738754
25	0.9439	1.00294	25	0.0738888
26	0.9404	1.00320	26	0.0739022
27	0.9368	1.00347	27	0.0739153
28	0.9330	1.00375	28	0.0739289
29	0.9291	1.00405	29	0.0739423
30	0.9250	1.00435	30	0.0739558
31	0.9208	1.00466	31	0.0739691
32	0.9164	1.00497	32	0.0739825
33	0.9119	1.00530	33	0.0739959
34	0.9072	1.00563	34	0.0740094
35	0.9024	1.00598	35	0.0740228

*See also the table: Properties of Saturated Steam.

RELATIVE DENSITY AND VOLUME OF WATER AND OF MERCURY AT VARIOUS TEMPERATURES

WATER		MERCURY		
Temp. Degree C.	Relative Density g/ml	Volume ml/g	Temp. Degree C.	
36	0.99371	1.00633	36	0.0740362
37	0.99336	1.00659	37	0.0740496
38	0.99299	1.00706	38	0.0740630
39	0.99262	1.00743	39	0.0740765
40	0.99224	1.00782	40	0.0740898
41	0.99186	1.00821	41	0.0741033
42	0.99147	1.00861	42	0.0741167
43	0.99107	1.00901	43	0.0741301
44	0.99066	1.00943	44	0.0741435
45	0.99025	1.00985	45	0.0741570
46	0.98982	1.01028	46	0.0741704
47	0.98940	1.01072	47	0.0741838
48	0.98896	1.01116	48	0.0741972
49	0.98852	1.01162	49	0.0742107
50	0.98807	1.01207	50	0.0742241
51	0.98762	1.01254	51	0.0742375
52	0.98716	1.01301	52	0.0742510
53	0.98669	1.01349	53	0.0742644
54	0.98621	1.01398	54	0.0742778
55	0.98573	1.01448	55	0.0742913
60	0.98059	1.01705	60	0.0743585
65	0.97811	1.01979	65	0.0744257
70	0.97489	1.02270	70	0.0744930
75	0.97183	1.02576	75	0.0745602
80	0.96865	1.02899	80	0.0746276
85	0.96534	1.03237	85	0.0746949
90	0.96192	1.03590	90	0.0747623
95	0.95838	1.03959	95	0.0748294
100	0.95475	1.04343	100	0.0748971
110	0.94510	1.0515	110	0.075032
120	0.934	1.0601	120	0.075167
130	0.922	1.0693	130	0.075303
140	0.909	1.0794	140	0.075439
150	0.895	1.0902	150	0.075575
160	0.880	1.1019	160	0.075712
170	0.863	1.1145	170	0.075849
180	0.846	1.1279	180	0.075986
190	0.828	1.1429	190	0.076124
200	0.810	1.1590	200	0.076262
210	0.791	1.177	210	0.076400
220	0.771	1.195	220	0.076539
230	0.750	1.215	230	0.076678
240	0.728	1.236	240	0.076818
250	0.705	1.259	250	0.076958
260	0.682	0.794	260	0.077099
270	0.658	0.723	270	0.077239
280	0.633	0.652	280	0.077371
290	0.607	0.581	290	0.077513
300	0.580	0.511	300	0.077656
310	0.552	0.442	310	Under 20 ATM.
320	0.524	0.373	320	0.077810
330	0.495	0.304	330	0.077954
340	0.466	0.235	340	0.078099
350	0.436	0.166	350	0.078245
360	0.405	0.097	360	0.078391
370	0.374	0.028	370	0.078538
380	0.342	0.000	380	0.078685
390	0.309	0.000	390	0.078834
400	0.276	0.000	400	0.078983
450	0.171	0.000	450	0.079133
500	0.066	0.000	500	0.079283
600	0.000	0.000	600	0.080686

ANEXO 2

REDES DE MONITORAMENTO

NECESSIDADE DE OBJETIVOS CLAROS

- PORQUE?
- UNDE?
- 0 QUE?
- QUANDO?
- COMO?
- QUE RESPOSTAS SE ESPERA?

ALGUMAS RESPOSTAS POSSÍVEIS

1. OBSERVAÇÕES DE TENDÊNCIA - LONGO PRAZO
2. JULGAR SE OCORRE VIOLAÇÕES DE PADRÕES E AVALIAR ESTRATÉGIAS DE CONTROLE
3. ATIVAR PROGRAMAS DE EMERGÊNCIA
4. AVALIAR RISCOS A SAUDE HUMANA
5. VERIFICAR OUTROS RISCOS AMBIENTAIS
6. PROVER BASE DE DADOS PARA PLANEJAMENTO DE USO DE SOLO
7. VALIDAR MODELO DE DISPERSÃO
8. INVESTIGAR RECLAMAÇÕES ESPECÍFICAS
9. ABRIR NOVOS CAMPOS DE INVESTIGAÇÃO

DESENHO DE REDE DE MONITORAMENTO

INFORMAÇÕES INICIAIS:

- . FONTES E EMISSÕES
- . DEMOGRAFIA E SAÚDE
- . METEOROLOGIA
- . TOPOGRAFIA
- . ESTUDOS ANTERIORES
- . USO DE SOLO

ORGANIZAÇÃO:

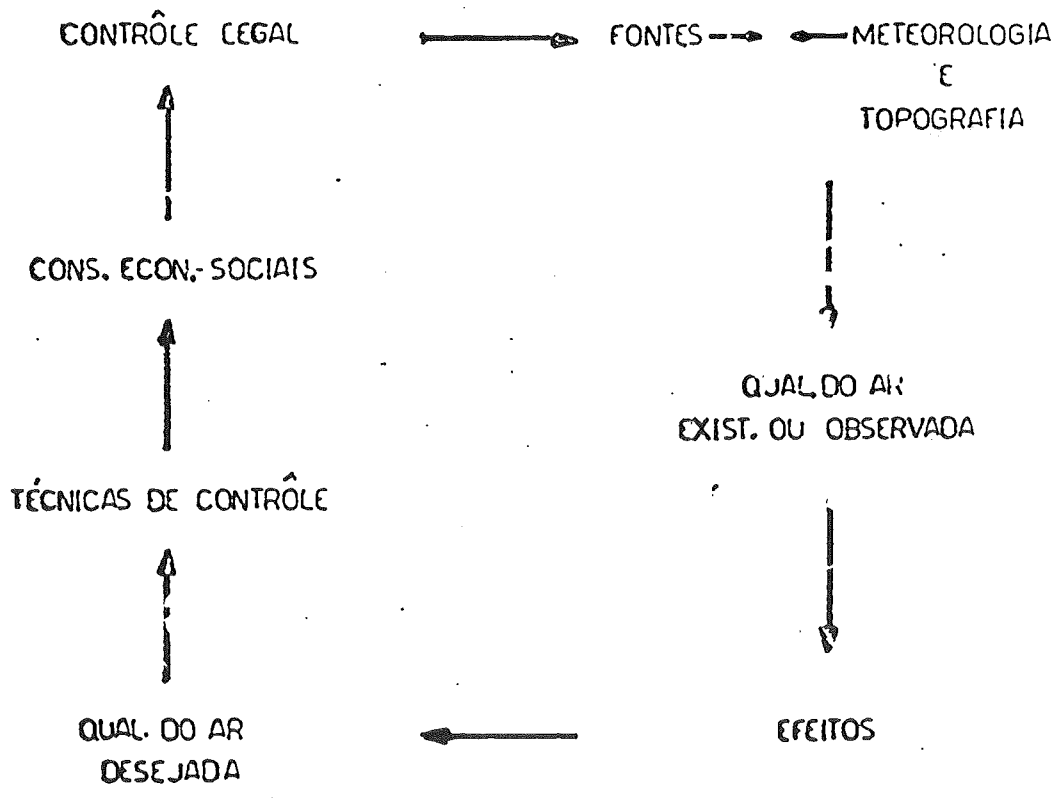
- . DEFINIÇÃO NA INSTITUIÇÃO RESPONSÁVEL
- . PESSOAL, EQUIPAMENTO E FINANÇAS

OUTRAS CONSIDERAÇÕES - OBJETIVOS CLAROS:

- . SELEÇÃO DOS POLUENTES A SEREM MEDIDOS
- . DEFINIÇÃO DAS ÁREAS ONDE OCORRERÃO AS MEDIÇÕES
- . DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ESTAÇÕES

a Solução

o Problema



DESENHO DE REDE DE MONITORAMENTO

INFORMAÇÕES INICIAIS:

- . FONTES E EMISSÕES
- . DEMOGRAFIA E SAÚDE
- . METEOROLOGIA
- . TOPOGRAFIA
- . ESTUDOS ANTERIORES
- . USO DE SOLO

ORGANIZAÇÃO:

- . DEFINIÇÃO NA INSTITUIÇÃO RESPONSÁVEL
- . PESSOAL, EQUIPAMENTO E FINANÇAS

OUTRAS CONSIDERAÇÕES - OBJETIVOS CLAROS:

- . SELEÇÃO DOS POLUENTES A SEREM MEDIDOS
- . DEFINIÇÃO DAS ÁREAS ONDE OCORRERÃO AS MEDIÇÕES
- . DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ESTAÇÕES

NORMA TÉCNICA

L8.012
MAIO/86

Material particulado em suspensão na atmosfera – Determinação da concentração pelo método da refletância da luz – Método de ensaio

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 - CEP. 05459 - PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

N **PALAVRAS-CHAVE:** Material particulado. Atmosfera. Concentração. Refletância da luz.

CETESB
L8.012
022212

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL



CETESB

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E AMBIENTE AMBIENTAL
BIBLIOTECA

SUMÁRIO

Pág.

1 OBJETIVO	1
2 APARELHAGEM	1
3 EXECUÇÃO DO ENSAIO	2
4 RESULTADOS	3
ANEXO A	5
ANEXO B	7

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método de determinação da concentração de material particulado em suspensão na atmosfera, pelo método da refletância da luz, expressa em microgramas de fumaça normalizada internacional por metro cúbico de ar.

2 APARELHAGEM

Para a execução do ensaio é necessário o seguinte:

- funil de vidro com boca de 40 ± 10 mm de diâmetro, ângulo de 60° e haste com diâmetro interno de 6,5 mm;
- tubo flexível de PVC transparente ou equivalente, de 6,5 mm de diâmetro interno;
- suporte universal com garra;
- porta-filtro metálico, tipo Millipore modelo XX5004700 ou equivalente, com área de filtração de 10 cm^2 ;
- papel de filtro com 55 mm de diâmetro;
- rotâmetro calibrado ou orifício crítico capaz de medir a vazão com um erro menor que 2%. (uma agulha hipodérmica que dê a vazão de 2 l/min pode ser usada como orifício);
- bomba de vácuo capaz de manter a vazão de 2 l/min e, no caso de orifício crítico, um diferencial de pressão maior que 70 kPa (0,7 atm);

- h) medidor de vazão, conforme Figura 1;
- i) contador elétrico de horas (horâmetro);
- j) disjuntor elétrico para o horâmetro e a bomba de vácuo;
- l) cronômetro;
- m) refletômetro completo;
- n) abrigo para operação do sistema.

CETESB - CIA. DE TEC. DE A. E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

3 EXECUÇÃO DO ENSAIO

3.1 Princípio do método

O ar é aspirado através de uma bomba de vácuo, passando por um filtro de papel que retém a poeira. Determina-se a refletância da mancha de poeira formada no papel e mediante curva padrão avalia-se a concentração de fumaça na superfície do filtro. Expressa-se o resultado em μ g de fumaça normalizada internacional por m^3 de ar.

3.2 Amostragem

3.2.1 Montar o sistema de amostragem com a disposição da Figura 2, mantendo o funil de captação de ar a uma distância de 2 a 15 m do solo, utilizando no máximo 6 m de tubo flexível com raios de curvatura não inferiores a 50 mm.

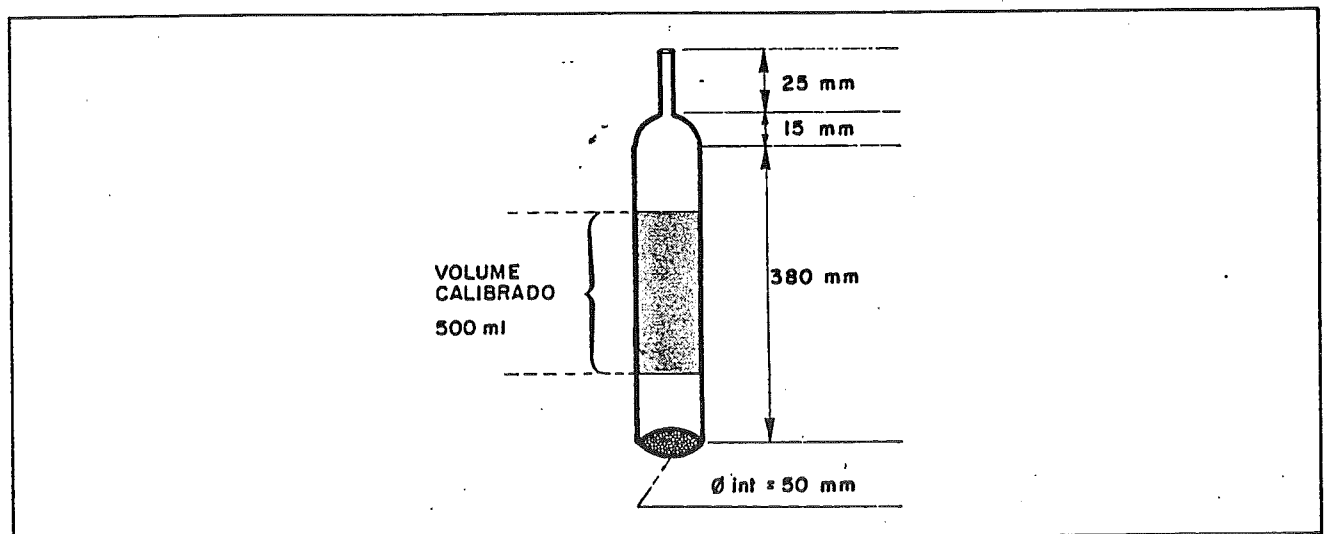


FIGURA 1 - Medidor de vazão.

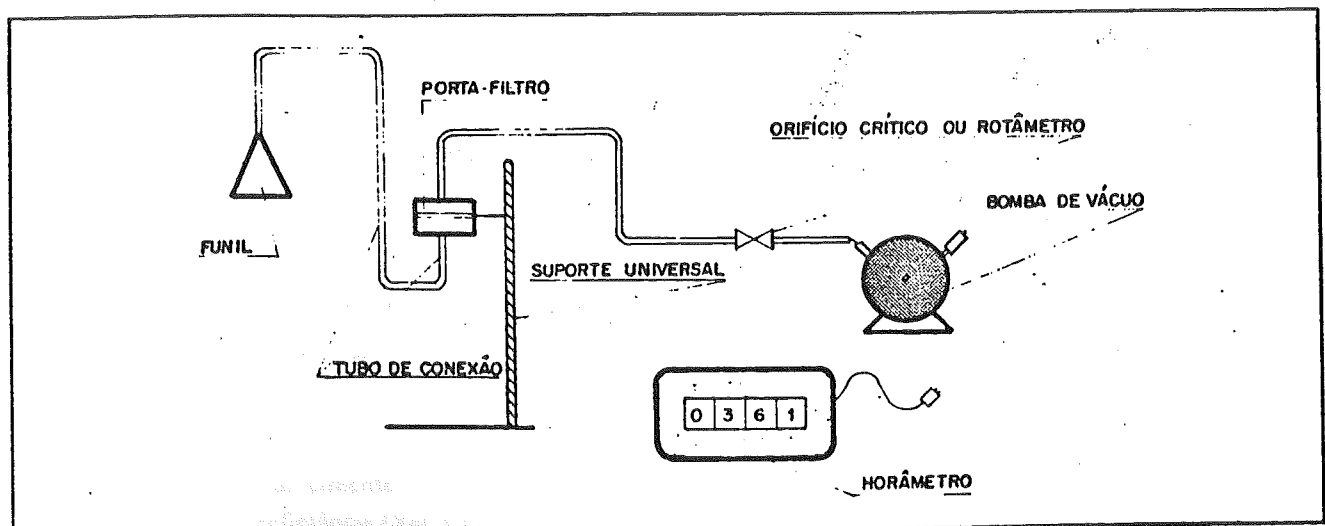


FIGURA 2 - Esquema do sistema de amostragem.

- 3.2.2 Calibrar o sistema de amostragem e calcular a vazão Q de amostragem conforme o Anexo A.
- 3.2.3 Colocar um papel de filtro numa placa de Petri, ou outro recipiente similar e levá-lo à estação amostradora.
- 3.2.4 Colocar o papel de filtro no porta-filtro, de modo que o ar penetre pela face mais lisa de baixo para cima.
- 3.2.5 Instalar o porta-filtro de tal maneira que o papel permaneça em posição horizontal.
- 3.2.6 Anotar em folha de campo o local, a data, a hora e o valor indicado no horâmetro.
- 3.2.7 Ligar a bomba e deixá-la operando pelo período desejado.

Nota: Na escolha do período de amostragem considerar que a faixa ideal para medição da refletância situa-se entre 90 e 40% (Índice de obscurecimento entre 10 e 60%).

- 3.2.8 Desligar a bomba.
- 3.2.9 Anotar em folha de campo o valor final do horâmetro, data e hora final da amostragem. Calcular o tempo real (t) de amostragem por diferença entre as leituras final e inicial do horâmetro.
- 3.2.10 Abrir o porta-filtro e retirar o filtro exposto.
- 3.2.11 Identificar o filtro e anotar, em sua borda livre de material particulado, o local, os dias de colocação e retirada, tomando cuidado para não tocar na área exposta.
- 3.2.12 Guardar o filtro no recipiente de transporte de modo que a face que contém o material particulado permaneça voltada para cima. Transportar ao laboratório.

3.3 Análise

- 3.3.1 Ligar o refletômetro e deixá-lo aquecer durante 10 minutos.
- 3.3.2 Colocar sobre uma superfície branca um papel de filtro não exposto com a face lisa voltada para cima.
- 3.3.3 Colocar o detector do refletômetro cuidadosamente sobre o papel de filtro e ajustar o controle de sensibilidade para o valor 100 da escala.
- 3.3.4 Retirar o detector.
- 3.3.5 Substituir o papel de filtro branco pelo exposto com a mancha de material particulado voltada para cima.
- 3.3.6 Colocar o detector cuidadosamente sobre a mancha, certificando-se de que a luz incida somente sobre a mancha.
- 3.3.7 Anotar o valor (R) da refletância.

4 RESULTADOS

4.1 Volume de ar amostrado

Calcula-se pela fórmula:

$$V = 10^{-3} Q \cdot t$$

onde:

V = volume de ar amostrado, em m³.

Q = vazão do sistema de amostragem, em l/min

t = tempo real de amostragem, em min.

4.2 Concentração de material particulado

4.2.1 Calcula-se o índice de obscurecimento pela fórmula:

$$I = 100 - R$$

onde:

I = índice de obscurecimento.

R = valor lido da refletância (Ver 3.3.7), em %.

4.2.2 A partir do índice calculado (I) obter na curva de calibração o valor da concentração superficial de fumaça normalizada internacional (s), em μg por cm^2 de superfície exposta do filtro.

Notas: 1) A Figura 3 (Ver Anexo B) apresenta a curva de calibração para um refletômetro da Evans Electro Selenium Ltd. e papel de filtro Whatman nº 1. A Tabela foi construída a partir da curva da Figura 3.

2) Nos casos em que o refletômetro e/ou o papel de filtro forem diferentes dos acima indicados, utilizar curva de calibração correspondente.

4.2.3 Calcula-se a concentração de fumaça normalizada internacional pela fórmula:

$$C = \frac{s \cdot A}{V}$$

onde:

C = concentração de fumaça normalizada internacional, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

s = concentração superficial de fumaça normalizada internacional, em $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

A = área da mancha = 10 cm^2

V = volume de ar amostrado, em m^3

/ANEXO A

ANEXO B – FIGURA 3 E TABELA

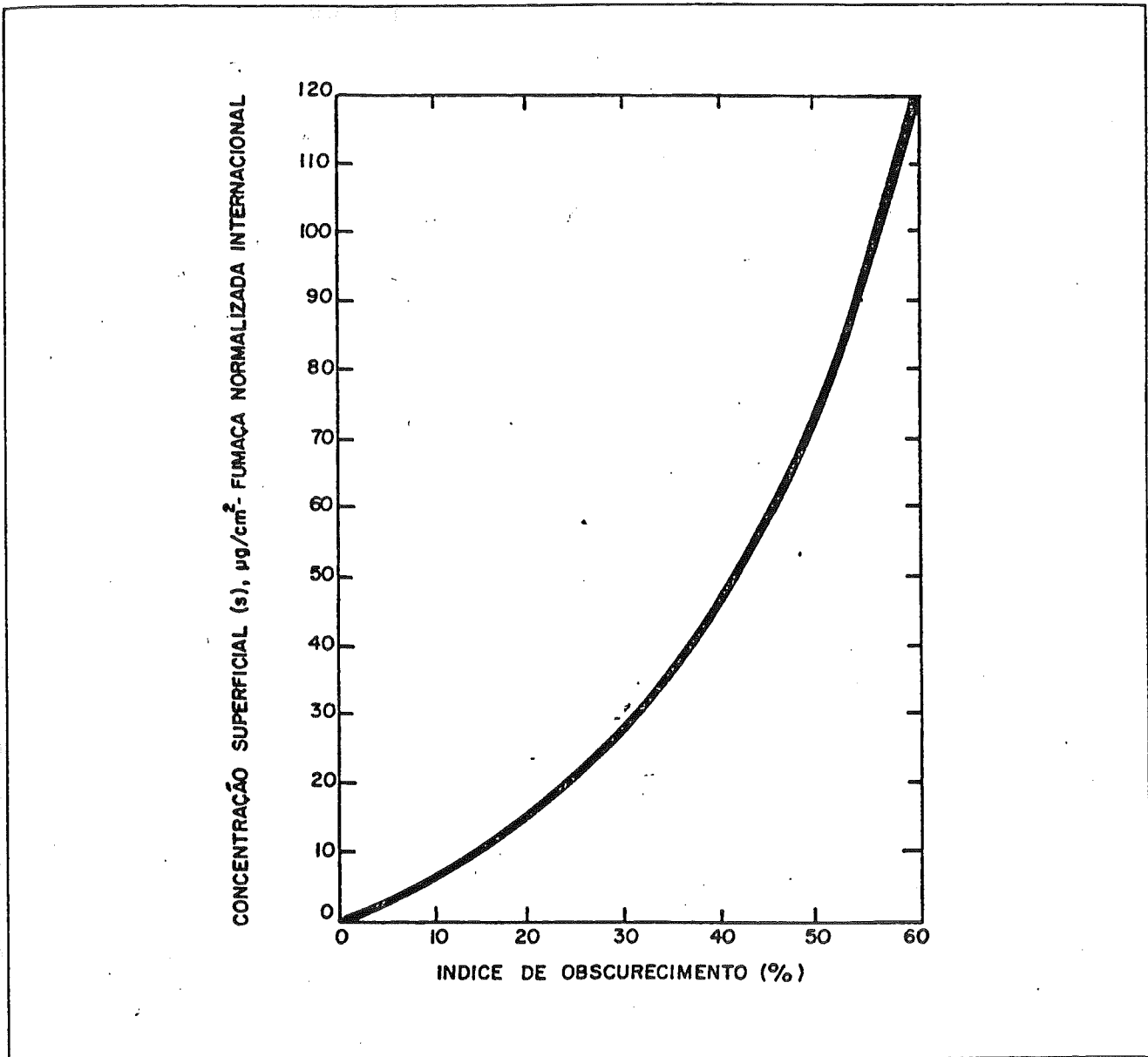


FIGURA 3 – Curva de calibração.

TABELA

TABELA – Concentração superficial (s), em $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, em função do índice I

<i>I</i>	<i>s</i>	<i>I</i>	<i>s</i>	<i>I</i>	<i>s</i>
1,0	0,3	21,0	15,0	41,0	46,5
1,5	0,5	21,5	15,5	41,5	47,5
2,0	0,7	22,0	16,0	42,0	48,5
2,5	1,0	22,5	16,6	42,5	50,0
3,0	1,3	23,0	17,4	43,0	51,5
3,5	1,5	23,5	18,0	43,5	52,5
4,0	1,6	24,0	18,5	44,0	54,0
4,5	1,8	24,5	19,0	44,5	55,0
5,0	2,0	25,0	19,5	45,0	56,5
5,5	2,4	25,5	20,0	45,5	57,5
6,0	2,6	26,0	20,7	46,0	59,0
6,5	3,0	26,5	21,5	46,5	60,5
7,0	3,3	27,0	22,0	47,0	62,0
7,5	3,5	27,5	22,5	47,5	63,5
8,0	3,7	28,0	23,5	48,0	65,0
8,5	4,0	28,5	24,0	48,5	66,5
9,0	4,5	29,0	25,0	49,0	68,5
9,5	4,7	29,5	25,5	49,5	70,0
10,0	5,0	30,0	26,4	50,0	71,5
10,5	5,5	30,5	27,0	50,5	73,0
11,0	6,0	31,0	27,5	51,0	74,5
11,5	6,3	31,5	28,4	51,5	76,5
12,0	6,5	32,0	29,2	52,0	78,0
12,5	7,0	32,5	30,0	52,5	80,0
13,0	7,5	33,0	30,7	53,0	82,0
13,5	7,7	33,5	31,5	53,5	83,5
14,0	8,3	34,0	32,5	54,0	85,5
14,5	8,5	34,5	33,3	54,5	87,5
15,0	9,0	35,0	34,0	55,0	89,5
15,5	9,5	35,5	35,0	55,5	91,0
16,0	10,0	36,0	36,0	56,0	93,5
16,5	10,5	36,5	37,0	56,5	95,5
17,0	11,0	37,0	38,0	57,0	97,5
17,5	11,5	37,5	38,5	57,5	100,0
18,0	12,0	38,0	39,5	58,0	102,5
18,5	12,3	38,5	40,5	58,5	105,0
19,0	13,0	39,0	41,5	59,0	108,0
19,5	13,5	39,5	43,0	59,5	111,5
20,0	14,0	40,0	44,0	60,0	115,0
20,5	14,5	40,5	45,0		

3799

Data Aquis.:	16/11/09
Indic.:	
Livrari.:	
Preço:	R\$
Data Tomba:	16/11/09