CETESB

NORMA TÉCNICA

L9.200

Set/1979
20 PÁGINAS

Amostragem continua de gases e vapores: procedimento

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo SP
Tel.: (11) 3133 3000 Fax.: (11) 3133 3402

http: // w w w . c e t e s b . s p . g o v . b r

SUMÁRIO

Página

1 OBJETIVO 1
2 REFERÊNCIAS 1
3 DEFINIÇÕES 2
4 CONDIÇÕES GERAIS 2
5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS 3
ANEXO A 17
ANEXO B 19
ANEXO C 21
ANEXO D 23

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma tem como objetivo estabelecer métodos gerais de amostragem contínua de gases ou vapores, para a análise dos mesmos.

1.2 Não é o objetivo desta Norma a amostragem com instrumentos de análise e leitura direta.

1.3 Os métodos de amostragem descritos são os de absorção, adsorção e condensação. Uma orientação para seleção do método mais conveniente segue no Anexo A.

2 REFERÊNCIAS

Na aplicação desta Norma pode ser necessário consultar os seguintes documentos, prevalecendo sempre o texto da última edição em vigor:

a) da ABNT,
   - EB-22 Peneiras para Ensaio. (NBR 5734)

b) da CETESB,
   - L1.011 Poluição do ar – Termos físicos e químicos – Terminologia;
   - L1.012 Poluição do ar – Sistemas de amostragem de ar – Terminologia;
   - L1.013 Poluição do ar – Unidades e termos relacionados – Terminologia;
   - L1.014 Poluição do ar – Equipamentos – Terminologia;
   - L1.015 Poluição do ar – Termos relacionados a meteorologia — Terminologia;
   - L1.016 Poluição do ar – Termos relacionados a higiene e segurança do trabalho – Terminologia;
   - L1.017 Poluição do ar – Termos gerais – Terminologia;

– L4.240 Medição de vazão com placas de orifício.

c) da ASTM,
– D-1605 Sampling atmospheres for analysis of gases and vapors;
– D-1357 Recommended practice for planning the sampling of the atmosphere;
– D-3249 General ambient air analyser procedure;
– E-200 Preparation, standardization and storage of standards solutions for chemical analysis.

d) da Indian Standard,
– IS-5182 – Part V Sampling of gaseous pollutants.

e) da EPA,
– Code of Federal Regulations, Title 40, Part 60, section 111-114, Method 6.

f) outros,
– Hervey B. Elkins "The Chemistry of Industrial Toxicology"

3 DEFINIÇÕES

Consultar definições das Normas de Terminologia da CETESB (L1.011 a L1.017).

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 Procedimento de amostragem

4.1.1 A chave de uma execução do procedimento de amostragem aceitável é o comportamento do conjunto de amostragem após o conhecimento da precisão e exatidão do método de análise. Em geral, para amostragem de ar, considera-se satisfatória uma eficiência de coleta de 90%, no mínimo. Pode-se avaliar o comportamento do conjunto de amostragem, preparando-se uma atmosfera de concentração conhecida.

4.1.2 A diversidade de poluentes gasosos e a variação da concentração dos mesmos na atmosfera, impede que um método padrão de amostragem, possa ser aplicável em todos os casos. Portanto, esta norma só define princípios básicos para a execução dos métodos de amostragem. Se for necessário alterar os mesmos, deverá aplicar-se um critério adequado para cada caso.

4.1.3 As amostras recolhidas devem ser representativas das condições existentes nos pontos a avaliar. O volume amostrado deve ser compatível com a sensibilidade do método de análise e a freqüência de amostragem compatível com os objetivos propostos.

4.1.4 As parcelas de ar recolhidas devem ser filtradas porque:

a) o material particulado pode perturbar a análise química; ou
b) pode perturbar a amostragem e os dispositivos de medição.

4.1.5 As amostras devem ser manipuladas com todas as precauções para evitar alterações nas propriedades do poluente em estudo.

4.1.6 O intervalo entre a coleta de amostras e a análise das mesmas, deve ser o mais curto possível, protegendo a amostra contra luz e calor, e evitando ao máximo a possibilidade de vazamentos.

4.1.7 Evitar a recirculação da parcela de ar recolhido através do amostrador. Essa parcela de ar deve ser expulsa a um espaço de onde seja impossível ser reciclado.

4.1.8 Colocar o dispositivo coletor na parte inicial e superior do fluxo, o mais próximo possível do ponto de amostragem, seguido pelos dispositivos de bombeamento e medição. O arranjo invertido é uma alternativa, mas aumenta as possibilidades de vazamentos e de contaminação da amostra, seja por diluição, ou seja por ar externo infiltrado, e deve ser evitado.

4.1.9 Quando existir possibilidade de resistência ao fluxo de ar no absorvedor, seja por congelamento ou precipitação, é necessário um manômetro. Suspender a amostragem quando a resistência à passagem for excessiva.

4.1.10 Todos os dispositivos e aparelhos devem ser calibrados periodicamente para assegurar a sua exatidão. O método de calibração do medidor de volume e comparando com outro aferido ou com medidor de vazão.

4.2 Aparelhagem

Os dispositivos que compõem o conjunto de amostragem estão relacionados em 4.2.1 até 4.2.7, vide Figura 1 (Anexo D).

4.2.1 Filtro

O filtro, colocado no início do conjunto de amostragem deve ser feito de materiais não reativos nem absorvedores, com respeito aos gases recolhidos. Os materiais usados são: fibra de vidro seca, película de plástico poroso, papel celulósico ou amianto. Quando se trata de amostras de ácido fluorídrico (HF) não pode ser usado material silícico ou papel celulósico nos filtros. Deve-se usar plástico não reativo (PVC, polietileno ou politetrafluoroetileno). Ver 4.1.4.

4.2.2 Bomba de vácuo

A bomba de vácuo deve ser de capacidade adequada para trabalhar uniformemente. Os valores mais apropriados geralmente são 5 a 10 l/min de vazão e 500 mm Hg de capacidade de vácuo. Se motorizada, o motor, de preferência, será do tipo de indução; será auto lubrificada.

4.2.3 Medidor de volume

O medidor de volume pode ser do tipo úmido (por deslocamento de água) ou do tipo seco (diafragma). Os do tipo úmido tem melhor precisão, mas são mais volumosos e pesados (ver Anexo B).

4.2.4 Termômetro

O termômetro comum de tubo de mercúrio é utilizado somente para efeito de corrigir o cálculo da vazão à temperatura padronizada.

4.2.5 Manômetro

Um manômetro comum de tubo de mercúrio, quando necessário (ver 4.1.9).

4.2.6 Dispositivo coletor

Um dispositivo coletor específico para cada método.

4.2.7 Outros acessórios

Para formar o conjunto de amostragem serão necessário tubos, mangueiras, pinças, suportes. Todos os materiais serão de diâmetro apropriado para não criar perdas de carga na vazão do gás, adequados para a temperatura de amostragem de materiais não absorventes nem adsorventes; se for possível sempre usar vidro, de boa qualidade. Para trabalhar com uma vazão de 15 a 30 l/min de sucção de gases, a linha (tubos de borracha, conexões, etc.), deve ser de aproximadamente 12,7 mm de diâmetro interno. No entanto, para vazões de até 5 a 12 l/min um diâmetro interno de 9,5 mm é suficiente.

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Método de absorção

5.1.1 Dispositivo coletor

5.1.1.1 O dispositivo coletor específico deste método é um absorvedor. Existem 4 (quatro) tipos básicos de absorvedor:

a) borbulhador simples ou frascos Petri (Figura 2, Anexo D);
b) borbulhador com difusor (Figura 3, Anexo D);
c) tipo espiral (Figura 4, Anexo D);
d) torre com recheio, pode ser camada de esfera de vidro (Figura 5, Anexo D).

5.1.1.2 Um tipo mais moderno, o nebulizador, pode ser usado em muitos casos, porém é mais complexo (Figura 6, Anexo D). Com os 4 (quatro) tipos comuns, pode ser obtida uma eficiência de 90%, aceitável para as exigências.

5.1.1.3 As características dos absorventes encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 – Características dos absorvedores

TIPO	CAPACIDADE DE ABSORVENTE (ml)	VAZÃO DA AMOSTRAGEM (ml/min)	OBSERVAÇÕES
Borb. simples	5 a 100	5 a 3000	Simples, pouco contato do gás com líquido.
Borb. com difusor	1 a 100	500 a 100 000	Fácil de usar, bom contato do gás com o líquido.
Espiral	10 a 100	40 a 500	Eficiente só a baixa vazão
Torre com recheio	5 a 50	500 a 2 000	Eficiente só a baixa vazão
Nebulizador	500 a 1 000	10 000 a 100 000	Para grandes volumes das amostras.

5.1.1.4 Um conjunto de amostragem típico é indicado na Figura 1 (Anexo D). Esse conjunto é apto para absorção de gases e vapores numa solução lavadora. Um conjunto de amostragem alternativo é descrito no Anexo B.

5.1.2 Eficiência do método

5.1.2.1 Quando se usa absorção em líquidos, a eficiência do método é determinada pelos seguintes fatores:
- grau de contato entre o gás e o absorvente (determinado pelo tamanho da borbulha);
- duração do contato (determinado pelo comprimento da passagem através do absorvente e a vazão do gás);
- índices de difusão entre as fases do gás e o líquido (coeficiente de transferência);
- solubilidade do gás amostrado no absorvente;
- volatilidade do gás amostrado;
- existência de reação química;
- concentração do reagente absorvedor;
- vazão do ar aspirado.

5.1.2.2 Quando a absorção é feita em líquidos não reativos, deve-se ter muito cuidado com certas limitações. O absorvente selecionado deve ser subordinado a exigências impostas pelo método de análise.

5.1.2.3 Quando a difusão atinge o equilíbrio, e o absorvente e contaminante, formam uma solução perfeita, a eficiência é indicada por:

$$\frac{1}{k \cdot v} \left(1 - e^{-kv}\right)$$

sendo:

v = relação entre o volume de gás amostrado e o volume do absorvente.

k = constante que depende da volatilidade do gás amostrado

Nota: Pode-se ver a explicação teórica da fórmula e os valores de k para diferentes gases e vapores no texto: *"The Chemistry of industrial toxicology"* de Hervey B. Elkins.

As limitações desse procedimento derivam do fato que a eficiência é inversamente proporcional a k e a v; por isso, a amostra só é aceitável para substâncias de baixa pressão de vapor à temperatura de amostragem. Também a concentração do contaminante deve ser suficientemente alta para que v fique abaixo de determinados valores. O conhecimento da eficiência é o que permite ao analista decidir a eleição do método de amostragem.

5.1.2.4 As limitações impostas por k e v podem ser diminuídas abaixando-se a temperatura do absorvente, sendo uma solução mais prática usar dois ou mais absorvedores em série para melhorar a eficiência quando ela fica abaixo de 80%.

5.1.2.5 Reações rápidas como neutralização de ácidos e bases fortes, que reduzem a volatilidade do gás amostrado praticamente a zero, são as que melhor aproveitam as vantagens do método de absorção. Neles são eliminados a limitação da volatilidade e perda do soluto da solução.

5.1.2.6 Os absorvedores tipo borbulhador simples, são adequados para gases solúveis, como gás clorídrico (HCl) e gás fluorídrico (HF). Outros gases menos solúveis como óxido de enxofre (SO_2), cloro (Cl_2) ou dióxido de nitrogênio (NO_2), exigem um contato maior ou múltiplo. Nesses casos, são usados borbulhadores com difusor, ou dispersando o gás mediante um nebulizador. Vapores insolúveis ou não reativos não são recolhidos com este método, preferindo-se o de adsorção ou condensação.

5.1.2.7 O absorvente não deve interferir na análise ou introduzir erros. Deve ter volatilidade suficientemente baixa para não evaporar excessivamente. A operação de amostragem deve ser feita de modo a evitar perdas do absorvente em forma de névoa.

5.2 Método de adsorção

5.2.1 Dispositivo coletor

5.2.1.1 O dispositivo coletor para este método é um adsorvedor constituído de tubos de vidro, que podem ser acoplados em estágios nos quais se coloca o material adsorvente (Figura 7, Anexo D). Para arranjos cilíndricos de carvão ativado podem-se preparar suportes metálicos especiais (Figura 8, Anexo D).

5.2.2 Eficiência do método

A eficiência do método dependerá de diversos fatores expostos em 5.2.2.1 a 5.2.2.4, assim como da experiência do analista para uma boa seleção do procedimento.

5.2.2.1 O fenômeno pelo qual gases ou vapores aderem em certo grau a uma superfície sólida, chama-se adsorção. Os adsorventes melhores e mais conhecidos são: carvão ativado, sílica gel e alumina ativada, sendo também usado o cloreto de lítio. Todos eles têm comportamento diferente para cada substância adsorvida quanto para as quantidades que podem reter.

5.2.2.2 Os adsorventes silicosos (sílica gel ou alumina ativada), são usados com vantagem para amostragem de curta duração, para atmosferas de alta concentração de contaminante, ou que são suficientemente secas, de modo que o adsorvente não sature com vapor de água antes que termine o processo de amostragem.

5.2.2.3 O carvão ativado é apolar, por isso é usado de preferência para adsorver gases ou vapores orgânicos. De fato,

ainda que tenha adsorvido previamente vapor de água, este é deslocado pelos gases orgânicos da atmosfera contaminada. Esse deslocamento não é significativo nos adsorventes silicosos.

5.2.2.4 Comparação do comportamento entre carvão ativado e sílica gel, ilustrando a diferença dos mesmos na sua utilização para amostragem de gases e vapores:

a) o carvão ativado tem maior capacidade de adsorção e retenção de contaminantes gasosos; mas a sílica gel tem maior seletividade entre eles;
b) o carvão ativado é mais apropriado para coletar mistura de gases e vapores, especialmente quando em pequenas concentrações, e que devem ser, por esse motivo, coletados em longos períodos de tempo;
c) a dessorção dos gases e vapores da sílica gel é mais fácil que a do carvão ativado, sendo assim possível obter a separação de gases e vapores por dessorção seletiva;
d) cada adsorvente pode ser impregnado para tornar-se mais apropriado para quimissorção de determinados gases ou vapores. A Tabela 2 apresenta as impregnações características para a quimissorção.

TABELA 2 — Impregnações características para a quimissorção

SUBSTÂNCIA DA AMOSTRA	IMPREGNANTE DO ADSORVENTE
Amoníaco (NH_3)	Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
Hidreto de arsênio (AsH_3)	Catalizadores oxidantes de cobre e prata
Etileno (C_2H_4)	Bromo (Br_2)
Formaldeído (CH_2O)	Sulfito de sódio estabilizado (Na_2SO_3)
Gás sulfídrico (H_2S)	Acetato de chumbo
	[$Pb(CH_3CO_2)$] ou cianeto de prata (AgCN)

5.2.3 Adsorção com carvão ativado

Para determinar para quais gases e vapores deve ser utilizado o método de adsorção com carvão ativado, usa-se o seguinte critério:

a) os vapores mais pesados (ponto de ebulição acima de 0°C), são adsorvidos e retidos pelo carvão ativado à temperatura normal, neste caso estão a maioria das substâncias orgânicas e inorgânicas odoríferas;
b) vapores de baixo ponto de ebulição, de temperatura crítica entre 0 e 150°C e ponto de ebulição entre −100°C e 0°C, são moderadamente adsorvíveis. (Ex.: amoníaco (NH_3), etileno (C_2H_4), formaldeído (CH_20), gás clorídrico (HCl) e gás sulfídrico (H_2S);
c) gases reais, de temperatura crítica inferior a −50°C e ponto de ebulição menor que −150°C não são adsorvíveis à temperatura normal por meios físicos. (Ex.: H_2, N_2, O_2, CO e CH_4).

5.2.3.1 As especificações mínimas do carvão ativado apropriado para adsorção encontram-se na Tabela 3.

TABELA 3 — Especificações do carvão ativado

PROPRIEDADE	ESPECIFICAÇÃO
Capacidade para CCl_4 (1)	mín 50% em peso
Retentividade para CCl_4 (2)	mín 30% em peso
Densidade aparente	mín 0,42 g/ml
Dureza (abrasão com bola de aço)	mín 80%
Tamanho de partícula (3)	passa peneira nº 6 retido peneira nº 14

(1) – Saturação máxima do carvão a 20°C e 760 mm Hg em um fluxo de ar equilibrado com CCl_4 a 0°C.

(2) – A retentividade é a quantidade máxima de um determinado gás ou vapor que o carvão já saturado retém quando exposto em ar não contaminado a 20°C e 760 mm de Hg, e representa a sua capacidade prática de sorção para coleta atmosférica.

(3) – Porcentagem de carvão que passa a peneira nº 06 e é retido na nº 08, e, depois de ser vibrado com 30 esferas de aço de 6 a 10 mm de diâmetro por cada 50 g de carvão, durante 30 minutos, fica retido na peneira nº 14 (Norma ABNT EB-22).

5.2.3.2 Para recolher amostras de vapores para os quais o carvão ativado tem retentividade maior que 5% (ver Tabela 4), passa-se uma corrente de ar através de uma camada de carvão de espessura uniforme de, no mínimo, 19 mm, perpendicular ao fluxo do ar. A vazão de ar será tal que o contato com o carvão seja, no mínimo, de 1/3 s.

5.2.3.3 Para recolher amostras de vapores para os quais o carvão ativado tem retentividade menor de 5% (ver Tabela 4), ou seja, aqueles vapores de baixo ponto de ebulição (item 5.2.3 b), passa-se uma corrente de ar através de uma camada de carvão de espessura uniforme de, no mínimo 38 mm, perpendicular ao fluxo de ar e um tempo de contato de, no mínimo, 2/3 s.

TABELA 4 – Retentividade de gases e vapores por meio de carvão ativado

SUBSTÂNCIA	FÓRMULA	PESO MOLECULAR	PTO. DE EBULIÇÃO NORMAL (°C à 760 mm Hg)	% Retentividade (em peso retido) à 20°C e 760 mm Hg	CARACTERÍSTICAS
Acetaldeído	C_2H_4O	44,1	21	7	Reagente; sabor maçã
Ácido acético	$C_2H_4O_2$	60,1	118	30	Reagente; vinagre
Acetona	C_3H_6O	58,1	56	15	Solvente
Acetileno	C_2H_2	26,0	– 88	2	Solda e corte
Acrilaldeído	C_3H_4O	56,1	52	15	Acroleína, graxa
Ácido acrílico	$C_3H_4O_2$	72,1	142	20	Plástico
Acetato de Amila	$C_7H_{14}O_2$	130,2	148	34	Solvente de laca
Álcool Amílico	$C_5H_{12}O$	88,1	138	35	Óleos
Álcolo Butílico	$C_4H_{10}O$	74,1	118	30	Solvente
Aldeído Butírico	C_4H_8O	72,1	76	21	Presente na combustão interna
Ácido Butírico	$C_4H_6O_2$	88,1	164	35	Suor
Ácido caprílico	$C_8H_{16}O_2$	144,2	238	35	Olores animais
Acetato de Etila	$C_4H_8O_2$	88,1	77	19	Solvente de laca
Álcool Etílico	C_2H_6O	46,1	78	21	Álcool de cereais
Ácido fórmico	CH_2O_2	46,0	101	7	Reagente
Ácido bromídrico	HBr	80,9	– 67	8	Ácido forte
Ácido clorídrico	HCl	36,5	– 84	4	Ácido forte
Ácido fluorídrico	HF	20,0	19	8	Ácido forte
Ácido iodídrico	HI	127,9	– 35,4	15	Ácido forte
Ácido sulfídrico	H_2S	34,1	– 62	3	Oxida para aumentar retentividade
Acetato de isopropila	$C_5H_{10}O_2$	102,1	89	23	Solvente de laca

Álcool isopropílico	C_3H_8O	60,1	82	26	Solvente, antecongelante
Ácido lactico	$C_3H_6O_3$	90,1	122	30	Leite
Acetato de metila	$C_3H_6O_2$	74,1	57	16	Solvente
Álcool metílico	CH_4O	32,0	65	10	Álcool de madeira
Ácido nítrico	HNO_3	63,0	86	20	Ácido oxidante
Ácido palmítico	$C_{16}H_{32}O_2$	256,4	339	35	Óleo de palmito
Ácido propiônico	$C_3H_6O_2$	74,1	141	30	
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	98,1	330	30	
Ácido valérico	$C_5H_{10}O_2$	102,1	187	35	Suor
Amoníaco	NH_3	17,0	– 33	desprez.	Refrigerante
Benzeno	C_6H_6	78,1	80	24	Removedor de tinta, solvente
Bromo	Br_2	159,8	59	40	Síntese orgânica
Butano	C_4H_{10}	58,1	1	8	Combustível
Butil acetato	$C_6H_{12}O_2$	116,2	126	28	Solvente de laca
Butil cloreto	C_4H_9Cl	92,6	78	25	Solvente
Butileno	C_4H_8	56,1	– 5	8	Combustível
Butino	C_4H_6	54,1	27	8	Síntese orgânica
Bisulfeto de carbono	CS_2	76,1	46	15	Solvente
Camfor	$C_{10}H_{16}O$	152,2	204	20	Medicinal
Cloro	Cl_2	70,9	– 34	15	
Clorofórmio	$CHCl_3$	119,4	61	40	Solvente, anestésico
Cresol	C_7H_8O	108,1	202	30	Protetor de madeira
Crotonaldeído	C_4H_6O	70,1	104	30	Solvente
Cloreto de etila	C_2H_5Cl	64,5	12	12	Refrigerante, anestésico
Cloreto de isopropila	C_3H_7Cl	78,5	35	20	Solvente
Cloreto de metileno	CH_2Cl_2	84,9	40	30	Síntese orgânica
Cloreto de metilo	CH_3Cl	50,5	– 24	5	
Decano	$C_{10}H_{22}$	142,3	231	25	Ingrediente de Querosene
Dietilcetona	$C_5H_{10}O$	86,1	103	30	Solvente
Dióxido de nitrogênio	NO_2	46,0	21	10	Hidrolina p/aumentar retentividade
Dióxido de enxofre	SO_2	64,1	– 10	10	Atmosfera das cidades
Éter Butílico	$C_8H_{18}O$	130,2	142	20	Solvente
Éter etílico	$C_4H_{10}O$	74,1	35	15	Éter medicinal
Etil mercaptano	C_2H_8S	62,1	35	23	Esgoto
Etileno	C_2H_4	28,0	– 104	3	Gás de iluminação, amadurecimento de frutas
Éter isopropílico	$C_6H_{14}O$	102,2	68	18	Solvente
Éter metílico	C_2H_6O	46,1	– 24	10	
Eucaliptol	$C_{10}H_{18}O$	154,2	176	20	
Escatol	C_9H_9N	131,2	266	25	Excremento
Formadeído	CH_2O	30,0	– 21	3	Desinfetante
Fenol	C_6H_6O	94,1	182	30	Ingrediente de plásticos
Heptano	C_7H_{16}	100,2	98	23	Ingrediente de gasolina
Hexano	C_6H_{14}	86,2	69	16	Ingrediente de gasolina
Hexino	C_6H_{10}	82,1	71	16	
Indol	C_3H_7N	117,1	254	25	Excremento
Iodo	I_2	253,8	183	40	Antisséptico
Iodo fórmio	CHI_3	393,8	sublima	30	Antisséptico
Mentol	$C_{10}H_{20}O$	156,3	215	20	Medicinal
Metil-etil-cetona	C_4H_8O	72,1	80	25	Solvente
Metil-isobutil-cetona	$C_6H_{12}O$	100,2	116	30	Solvente

Metil mercaptano	CH_4S	48,1	8	20	Esgoto
Naftaleno	$C_{10}H8$	128,2	218	30	Reagente
Nicotina	$C_{10}H_{14}N_2$	162,2	247	25	Fumos
Nitrobenzeno	$C_6H_5NO_2$	123,1	211	20	Óleo de amêndoas
Nonano	C_9H_{20}	128,2	150	25	Ingrediente de Querosene
Octano	C_8H_{18}	114,2	125	25	Ingrediente de gasolina
Ozônio	O_3	48,0	– 112	–	Gerado por descargas elétricas
Pentano	C_5H_{12}	72,1	37	12	Naftas
Penteno	C_5H_{10}	70,1	40	12	
Propano	C_3H_8	44,1	– 42	5	Gás para aquecimento
Propileno	C_3H_6	42,1	– 47	5	Gás de carvão
Propil mercaptana	C_3H_8S	76,1	68	25	Esgoto
Piridina	C_5H_5N	79,1	115	25	Queima de tabaco
Propina	C_3H_4	40,1	– 23	5	Síntese orgânica
Putrescina	$C_4H_{12}N_2$	88,2	158	25	Destruição da carne
Terebentina	$C_{10}H_{16}$	136	180	32	Solvente
Tetracloreto de carbono	CCl_4	153,8	75	45	Solvente, limpador, extintor de fogo
Tolueno	C_7H_8	92,1	111	29	Produção de TNT
Trioxido de enxofre	SO_3	80,1	45	15 (seco)	Hidroliza para SO_4H_2
Xileno	C_3H_{10}	106,2	144	34	Solvente

5.2.4 Dessorção

5.2.4.1 Dessorção do carvão ativado: Os gases e vapores adsorvidos são dessorvidos do carvão ativado por:

a) dessorção por arraste por vapor:

– no processo de deslocamento por vapor, o carvão ativado é limpo com jato de vapor superaquecido a 300°C ou mais. Os efluentes de vapor e mais os gases e vapores deslocados são retidos para análise. O jateamento continua até que o condensado perde todo o odor. O condensado é separado em camadas líquidas e oleosas, as quais são submetidas a análise químico qualitativa ou análise espectrométrica. Esse método tem a desvantagem que o vapor pode hidrolizar alguns compostos orgânicos, como esteres, produzindo alterações qualitativas;

b) dessorção por vácuo:

– os componentes que podem reagir seja entre si ou com água, dificultam muito a recuperação. Com este método procura-se resolver esses problemas aquecendo o carvão ativado ao mesmo tempo em que é feito vácuo no sistema e condensando o material dessorvido a baixas temperaturas.

5.2.4.2 Dessorção da sílica-gel: Para a dessorção de gases ou vapores odorosos retidos na sílica-gel, o método é mais simples. Soprando com ar não contaminado à temperatura próxima até 350°C é suficiente. Outro método pode ser a utilização de solvente polarizado como água ou álcool e destilação com vapor saturado à pressão atmosférica.

5.3 Método de condensação

5.3.1 Dispositivo coletor

5.3.1.1 Dispositivo condensador: Um dispositivo de coleta (absorvedor submerso em banho refrigerante) é mostrado na Figura 9 do Anexo D. Um conjunto de amostragem resfriado em várias etapas (arranjo em cascata) é mostrado na Figura 10 do Anexo D.

5.3.2 Eficiência do método

5.3.2.1 A coleta de amostras à baixa temperatura produz a formação de névoas quando o ar é resfriado. Essas névoas

são compostas por partículas sólidas ou líquidas de tamanho diverso e que passam através dos coletores, reduzindo a eficiência do equipamento. Nesses casos é necessário colocar um filtro simples (de lã de vidro) no coletor. O particulado sólido retido também atua como filtro, melhorando a eficiência, mas aumentando a resistência. Fica claro que esse filtro é adicional ao pré-filtro, previsto para eliminar material particulado da atmosfera em estudo.

5.3.2.2 Ao selecionar os refrigerantes, são usados compostos que mantenham a temperatura constante pela mudança de estado. A seleção correta dos refrigerantes auxilia para uma melhor eficiência de coleta. Os refrigerantes mais comuns encontram-se no Anexo C.

5.3.2.3 Selecionar um refrigerante suficientemente frio, de modo que a pressão de vapor do material coletado seja o suficientemente baixa para prevenir a evaporação durante a amostragem. Geralmente a pressão de vapor dos gases ou vapores condensados deve ser à temperatura de coleta, de 1 mm de Hg (132 Pa, ou menos). Na Tabela 5, é dada a pressão de vapor de vários gases e vapores contaminantes referidos às temperaturas dos banhos refrigerantes mais comuns.

5.3.2.4 O método mais comum utiliza uma série de coletores submersos em banhos a temperaturas progressivamente menores para permitir condensação fraccionada e teríamos segurança de condensação eficiente, se o último coletor ficar vazio.

5.3.2.5 O oxigênio líquido é o refrigerante que está no limite de temperatura, já que menores (por exemplo: com nitrogênio líquido), podem condensar oxigênio do ar no coletor especialmente quando a vazão é baixa. O risco de explosão com oxigênio líquido é um fator grave a considerar.

/TABELA 5

TABELA 5 – Pressão de vapor de gases e vapores contaminantes

SUBSTÂNCIA	PESO MOLECULAR	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)	PONTO DE SOLIDIFICAÇÃO (°C)	ESTADO NORMAL	PRESSÃO DE VAPOR (mm Hg) (1)					
					20°C	GELO	NH_3	CO_2	CS_2	O_2
Amoníaco	17,0	– 33,4	– 77,7	vapor	8,46 atm	4,2 atm	1 atm	44,0	0,6	...
Arsênico	77,9	– 55	– 113,5	vapor	15,0 atm	8,4 atm	2,8 atm	338,0	36,0	0,2
Benzeno	78,1	80,1	5,5	líquido	75,0	25,0	1,4	0,1	...	...
CO_2	76,1	46,3	– 111,8	líquido	295,0	127,0	21,0	0,6	...	...
Cl_2	70,9	– 33,8	– 102	vapor	6,6 atm	3,7 atm	4 atm	62,0	2,5	...
Etileno	28,0	– 103,7	– 169,4	gás	...	40,6 atm	...	...	462,0	0,1
Formaldeído	30,0	– 21	– 92	vapor		...	392	22,0	1,0	...
HCl	36,5	– 84	– 112	vapor	41,6 atm	25,5 atm	9 atm	1,3 atm	120,0	0,8
H_2S	34,1	– 61,8	– 82,9	vapor	17,7 tam	10,2 atm	3,6 atm	259,0	16,0	0,1
Metanol	32,0	64,7	– 97,8	líquido	96,0	30,0	2,7	0,1	...	...
Metilamina	31,1	– 6,5	– 92,5	vapor	2,9 atm	1,3 atm	190	6,5	0,1	...
Metil mercaptano	48,1	6,8	– 121	vapor	1,7 atm	577,0	109	3,8	0,1	...
Ozônio	48	– 112	– 251	gás	...	...	...	...	1 atm	0,17
SO_2	64,1	– 10,0	– 72,7	vapor	3,2 atm	1,5 atm	225	8,4	...	...

(1) As pressões em mm Hg quando não indicar outra unidade.
As pressões são referidas às temperaturas indicadas em 8.4.3

/ANEXO A

ANEXO A – RESUMO DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E VAPORES

MÉTODO	EQUIPAMENTO	AGENTE COLETOR	VAZÃO DE AMOSTRAGEM	CONTAMINANTE	EFICIÊNCIA DA COLETA	OBSERVAÇÕES
ABSORÇÃO COM CONJUNTO DE AMOSTRAGEM	Absorvedor simples. Frasco Petri ou Drechsel. Lavador.	Água, Ácido, Álcali ou Solvente Orgânico	1 a 5 ℓ/min	gases e vapores solúveis, miscíveis ou reativos	90 a 100%	Equipamento relativamente simples. Podem ser montadas unidades em série. Não é eficiente com presença de material particulado.
	Absorvedor de contato múltiplo (com difusor).		1 a 5 ℓ/min		95 a 100%	A presença de material particulado prejudica o fluxo. Eficiente para gases reativos. Equipamento relativamente simples.
	Torré c/ camada Espiral com superfície úmida. Lavador de Milligan.		1 a 5 ℓ/min		90 a 100%	Pode-se acrescentar um umidificador pois se a superfície secar perde-se parte da amostra.
ADSORÇÃO	Conjunto adsorvedor	Carvão ativado	1 ℓ/min	Todos os solventes	100%	Boa eficiência para a maioria dos gases e vapores reativos. A análise química exige dessorção prévia. O equipamento é complexo. Pode-se avaliar por peso.
		sílica gel	1 a 5 ℓ/min	Vapores solventes	90 a 100% (dependendo da volatilidade)	
CONDENSAÇÃO	Trem de condensação (Tubos U)	Nenhum agente Banhos frios	1 a 5 ℓ/min	gases e vapores	90 a 100% (dependendo da pressão de vapor)	Boa eficiência para líquidos vaporizados não voláteis. Exige equipamento de refrigeração a baixa temperatura.

ANEXO B – CONJUNTO DE AMOSTRAGEM ALTERNATIVO

Para determinar a vazão de ar amostrado, em lugar do medidor de volume, pode ser empregado um dispositivo de medição utilizando um manômetro diferencial (tubo em "U" com água) unido na sua parte superior mediante um tubo capilar, ou uma agulha hipodérmica que faz as vezes de orifício. (Ver Figura 11 no Anexo D). A queda de pressão originada pela contração no capilar é proporcional à vazão de ar.

Esse dispositivo é apto para fluxos de até 1 ℓ/min.

Com esse princípio pode ser conseguida uma vazão constante, regulando-se a pressão. Quando a pressão, depois da passagem, é igual ou menor que 53% da pressão antes da passagem, a vazão é constante e proporcional à pressão antes da passagem.

Nesse caso, o conjunto de amostragem pode ser constituído do absorvedor seguido do orifício e a bomba regulada para manter uma pressão posterior bem menor que a metade da atmosférica (< 50 kPa) com o que se assegura a condição isocinética.

/ANEXO C

ANEXO C – REFRIGERANTES DE USO COMUM

REFRIGERANTE	TEMPERATURA (°C)
– Água e gelo	0
– Gelo e salmora (NaCl)	–21
– Tetracloreto de carbono CCl_4	–22,9
– Amoníaco líquido NH_3	–33,4
– Clorobenzeno $C_6H_5 . Cl$	–45,2
– Clorofórmio $C.H.Cl_3$	–63,5
– Cellosolve (2–etoxy–etanol–1)	–70
– Dióxido de carbono sólido CO_2	–78,5
– Acetona ($CH_3 . CO . CH_3$)	–94
– Disulfato de carbono sólido (CS_2)	–118,5
– Ar líquido	–147
– Oxigênio líquido (O_2)	–183
– Nitrogênio líquido (N_2)	–196

/ANEXO D

ANEXO D – FIGURAS

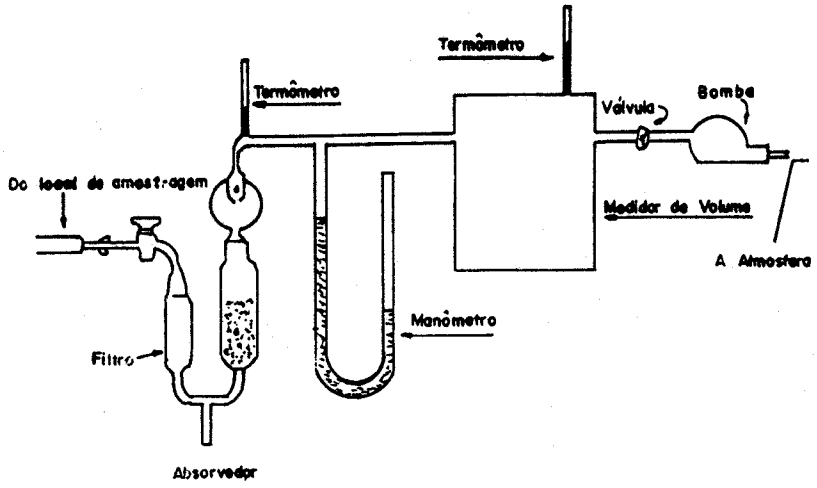

FIGURA 1 – Conjunto de amostragem típico

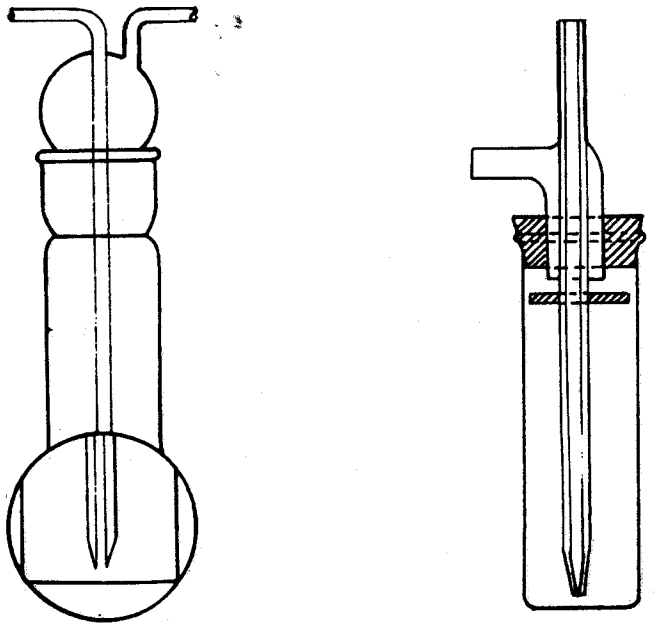

FIGURA 2 – Absorvedor tipo borbulhador simples ou frascos de Petri.

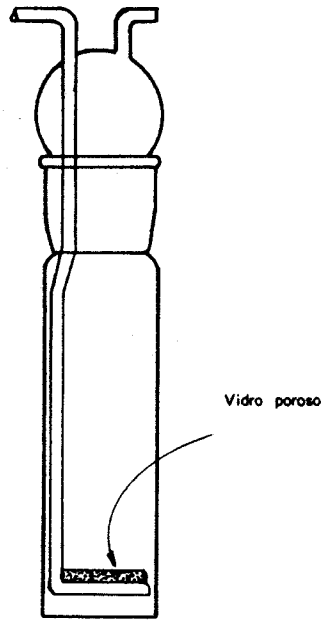

FIGURA 3 – Absorvedor tipo borbulhador com difusor.

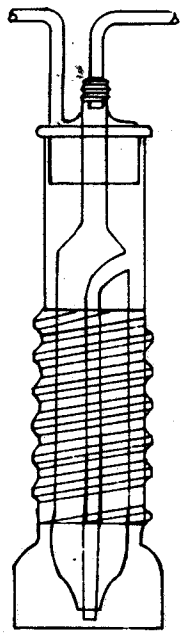

FIGURA 4 – Absorvedor tipo espiral.

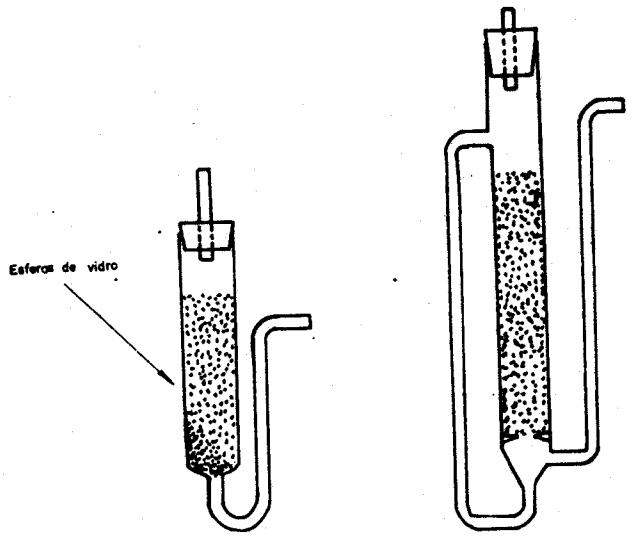

FIGURA 5 – Absorvedor tipo torre com recheio.

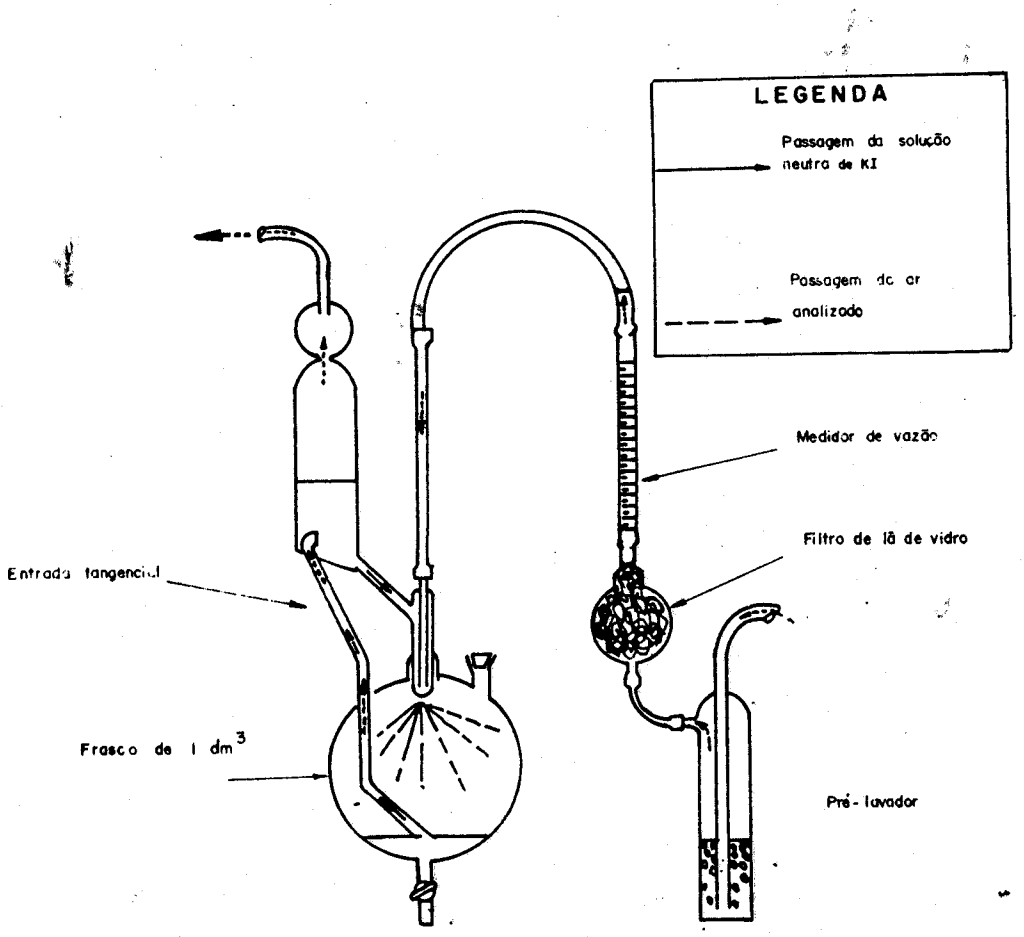

FIGURA 6 – Tipo nebulizador.

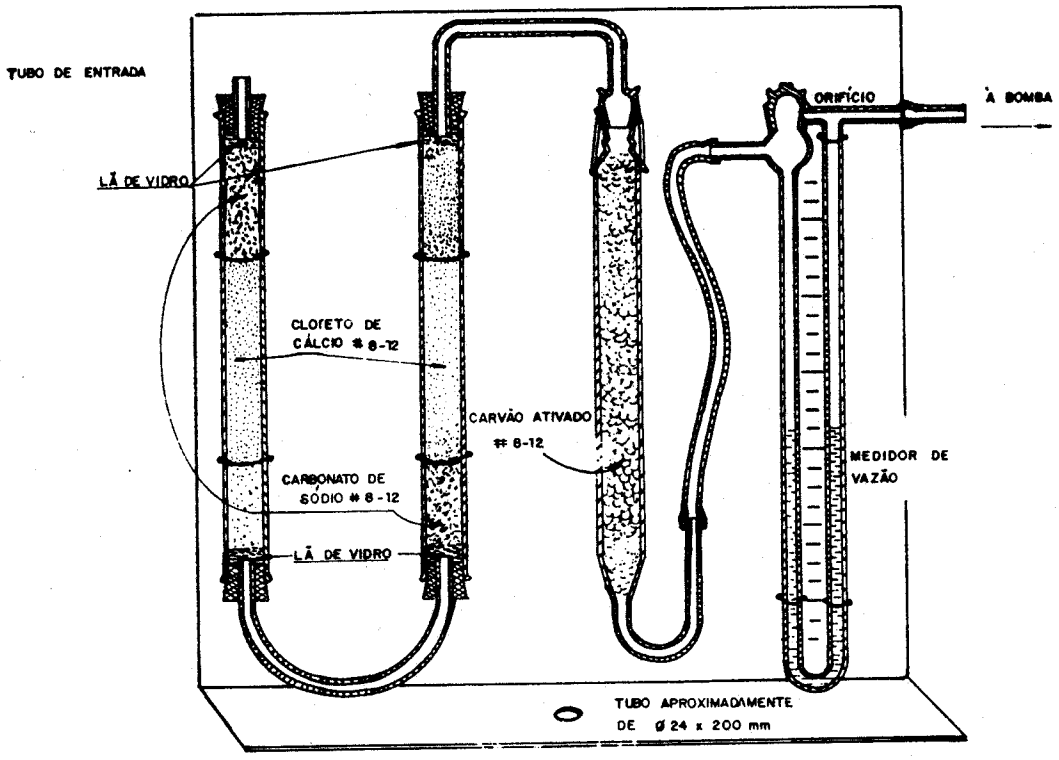

FIGURA 7 – Adsorvedor.

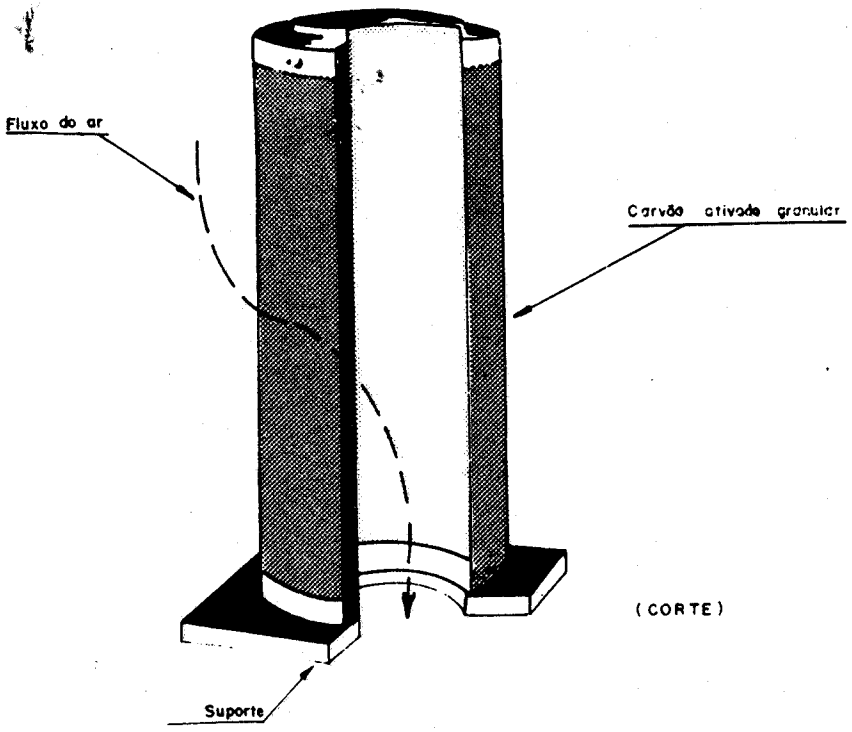

FIGURA 8 – Cilindro de carvão ativado.

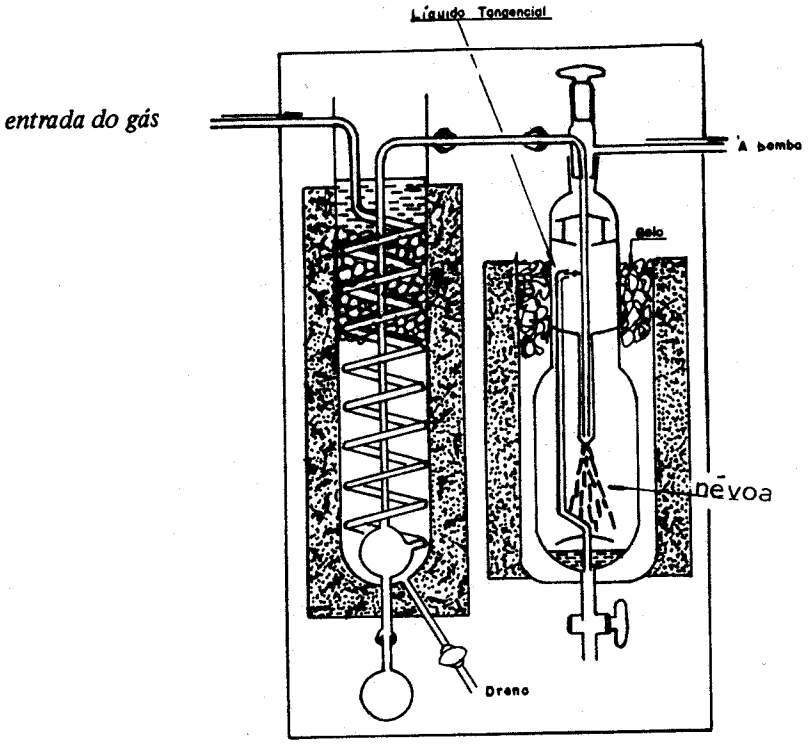

FIGURA 9 – Adsorvedor submerso em banho refrigerante.

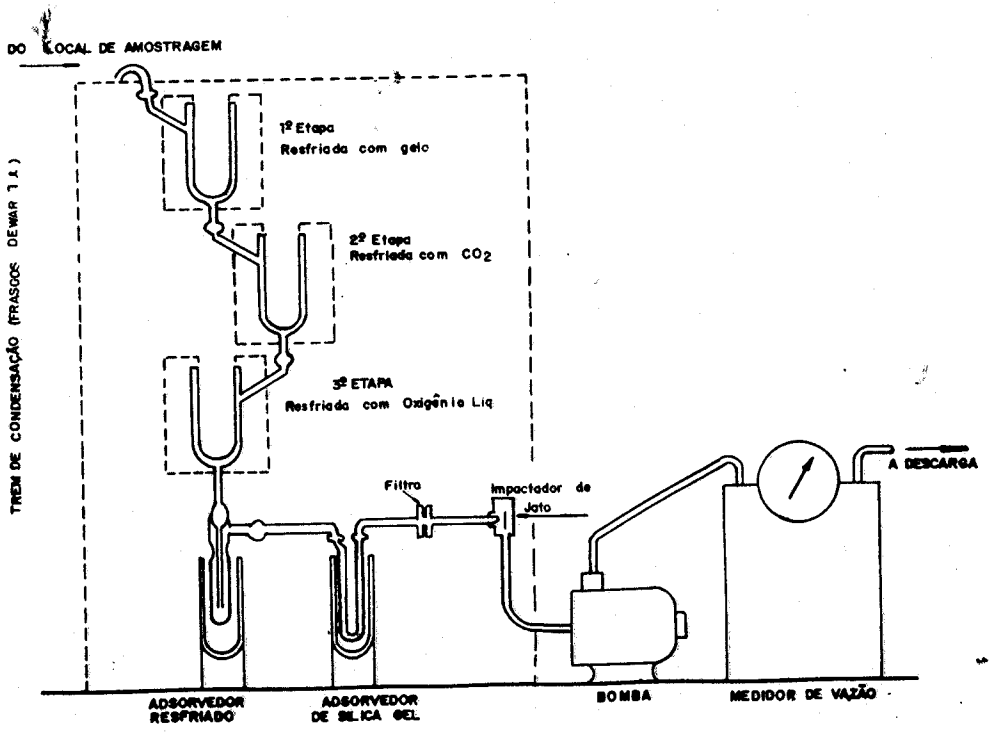

FIGURA 10 – Adsorvedor em cascata.

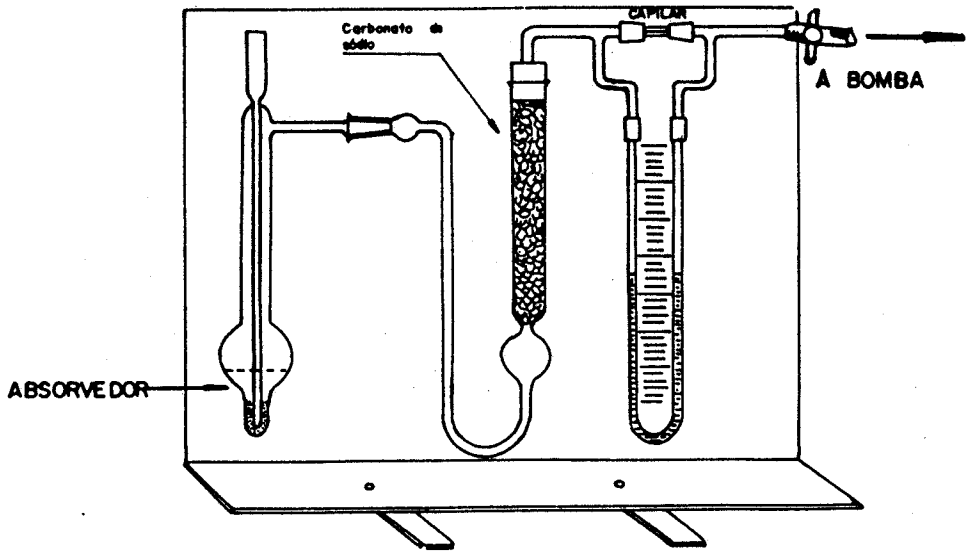

FIGURA 11 – Conjunto de amostragem alternativo.