



# NORMA TÉCNICA

L9.234

Out/1995  
15 PÁGINAS

Dutos e chaminés de fontes estacionárias: determinação de chumbo inorgânico - método de ensaio

**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: // www . cetesb . sp . gov . br](http://www.cetesb.sp.gov.br)

CETESB	<p style="text-align: center;"><b>DUTOS E CHAMINÉS DE FONTES ESTACIONÁRIAS DETERMINAÇÃO DE CHUMBO INORGÂNICO</b></p> <p style="text-align: center;">Método de ensaio</p>	<p style="text-align: center;">L9.234</p> <p style="text-align: center;">OUT/95</p>
--------	--	---

## SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Limite de detecção do método
- 3 Sensibilidade analítica
- 4 Interferentes
- 5 Normas complementares
- 6 Aparelhagem
- 7 Execução do ensaio
- 8 Resultados

### 1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma prescreve o método de determinação de chumbo no fluxo gasoso em dutos e chaminés de fontes estacionárias.

1.2 Esta Norma é complementar ao Decreto nº8468, Art. 28, inciso II.

### 2 LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO

Para uma precisão analítica de  $\pm 10\%$ , o limite inferior de detecção é de 100  $\mu\text{g}$ . O limite superior pode ser ampliado por diluição.

### 3 SENSIBILIDADE ANALÍTICA

Sensibilidades típicas para uma alteração de 1% na absorvância (0,0044 unidades de absorvância) são de 0,2 e 0,5  $\mu\text{g Pb/mL}$  para comprimentos de 217,0 e 283,3 nm respectivamente.

### 4 INTERFERENTES

Alguns compostos contidos na amostra podem interferir nas análises de chumbo por absorção atômica. Se houver suspeita da presença desses interferentes o analista deve confirmar a presença dos efeitos matriz. A eliminação destes interferentes pode ser feita pelo método da adição de padrão. Altas concentrações de cobre podem interferir nas análises de chumbo realizadas em comprimentos de onda de 217 nm. Esta interferência pode ser evitada realizando a análise em 283,8 nm.

### 5 NORMA COMPLEMENTAR

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- L9.225 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de material particulado - Método de ensaio.

### 6 APARELHAGEM

6.1 Equipamentos para amostragem (ver Figura 1)

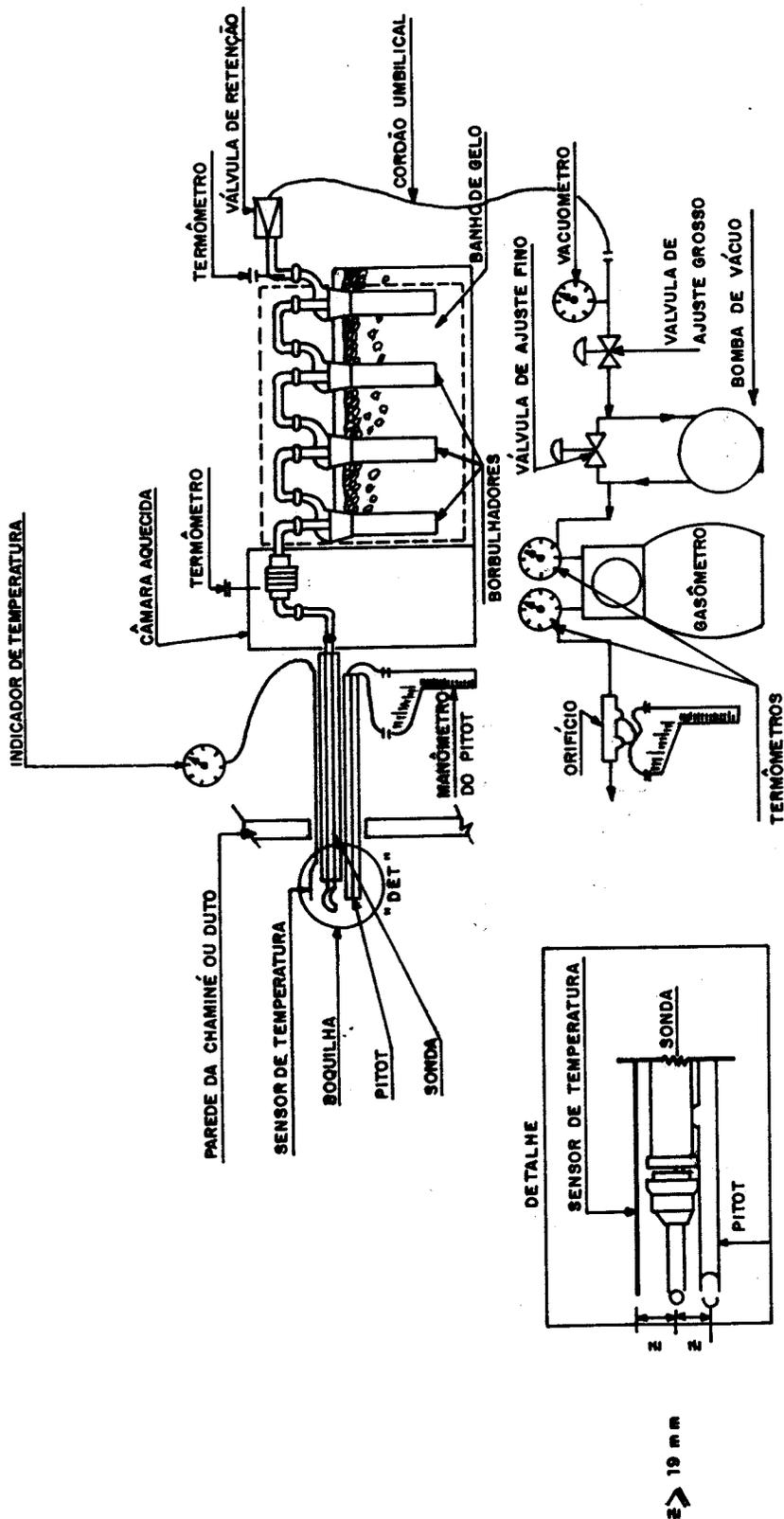


FIGURA 1 - TREM DE AMOSTRAGEM PARA CHUMBO INORGÂNICO

6.1.1 Conjunto de boquilhas de aço inoxidável com bordas finas e cônicas, devendo serem aferidas e calibradas.

6.1.2 Sonda de material compatível com a corrosividade e temperatura do meio, provida de Pitot, de termopar e de sistema de aquecimento que evite a condensação de vapor durante a coleta.

6.1.3 Porta-filtro de material compatível com a corrosividade e temperatura do meio.

6.1.4 Sistema de aquecimento capaz de manter a temperatura em  $120 \pm 10^\circ\text{C}$  no porta-filtro durante todo o período da coleta.

6.1.5 Condensador composto de quatro borbulhadores do tipo Greenburg-Smith ligados em série com conexões de vidro ou de outro material não contaminante, provido de termômetro na saída do quarto borbulhador, com menor divisão de  $1^\circ\text{C}$ . Os dois primeiros borbulhadores devem conter volumes conhecidos de ácido nítrico 0,1 N, o terceiro deve estar vazio e o quarto deve conter sílica-gel.

6.1.6 Banho de gelo picado ou outro sistema de resfriamento equivalente.

6.1.7 Sistema de medição composto basicamente de:

- a) vacuômetro;
- b) válvulas de agulha para controle do fluxo;
- c) bomba de vácuo;
- d) gasômetro seco, provido de termômetros na entrada e saída com menor divisão de  $1^\circ\text{C}$ ;
- e) placa de orifício;
- f) dois manômetros diferenciais com fundo de escala de 2452 Pa (250 mmH<sub>2</sub>O);
- g) barômetro com menor divisão de 266,6 Pa (2 mmHg);
- h) termômetro com menor divisão de  $1^\circ\text{C}$ , e cujo elemento sensível ou termopar é aquele acoplado à sonda (ver 6.1.2);
- i) cronômetro.

6.1.8 Filtro livre de chumbo (Gelman grau espectrográfico ou Reeve Angel 934 AH ou MSA 1106 BH ou outro equivalente) ou filtro de fibra de vidro de alta pureza, livre de compostos orgânicos, com pelo menos 99,9% de eficiência na retenção de partículas de 0,3  $\mu\text{m}$ .

6.1.9 Sílica-gel, com indicador de umidade, com granulometria de 1,0 a 3,4 mm (aproximadamente 16 a 6 mesh).

## 6.2 Aparelhos para recuperação e análise da amostra

6.2.1 Escovas com cerdas de náilon ou outro material não contaminante, com comprimento um pouco maior que o da sonda.

6.2.2 Placas de Petri.

6.2.3 Frasco de vidro para guardar a amostra.

6.2.4 Cilindro graduado e balança, com precisão de 1 mL e 0,5 g, respectivamente.

6.2.5 Funil de vidro para auxiliar na recuperação da amostra.

6.2.6 Bagueta com ponta de borracha.

- 6.2.7 Chapa de aquecimento ou estufa.
- 6.2.8 Frascos Erlenmeyer de 125 ou 250 mL.
- 6.2.9 Filtro de membrana Millipore SCWPO 4700 ou equivalente para filtração da amostra.
- 6.2.10 Aparelhagem para filtração a vácuo.
- 6.2.11 Balões volumétricos de 100, 250 e 1000 mL.
- 6.2.12 Espectrofotômetro de absorção atômica com lâmpada de catodo oco de chumbo e queimador para mistura ar/acetileno.
- 6.2.13 Balança analítica.

### 6.3 Reagentes e soluções

- 6.3.1 Água destilada e desionizada.
- 6.3.2 Ácido nítrico concentrado p.a. ( $\text{HNO}_3$ ).
- 6.3.3 Nitrato de chumbo p.a. [ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ].
- 6.3.4 Ar com adequada qualidade para análise por absorção atômica.
- 6.3.5 Acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) com qualidade adequada para análise por absorção atômica.
- 6.3.6 Peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 30%.

Pipetar 10 mL de peróxido 30% em um balão volumétrico de 100 mL e completar o volume com água destilada e desionizada.

#### 6.3.7 Solução de ácido nítrico 0.1N:

Colocar 6.5 mL de ácido nítrico concentrado em um balão volumétrico de 1000 mL e completar o volume com água destilada e desionizada.

#### 6.3.8 Solução de ácido nítrico 50% V/V:

Colocar 500 mL de ácido nítrico concentrado em um balão volumétrico de 1000 mL e completar o volume com água destilada e desionizada.

#### 6.3.9 Solução-padrão de nitrato de chumbo concentrada:

Em um balão volumétrico de 100 mL, dissolver 0.1598 g de nitrato de chumbo com 60 mL de água destilada e desionizada. Adicionar 2 mL de ácido nítrico concentrado e completar o volume com água destilada e desionizada. Esta solução conterá 1000  $\mu\text{g}$  Pb/mL.

#### 6.3.10 Solução-padrão de nitrato de chumbo diluída:

Tomar 6 balões volumétricos de 250 mL. Do segundo ao sexto pipetar, respectivamente, 1.0; 2.0; 3.0; 4.0 e 5.0 mL de solução-padrão de nitrato de chumbo concentrada. Adicionar a cada um dos 6 balões 5 mL de ácido nítrico concentrado e a seguir completar seus volumes com água destilada e desionizada. Estas soluções obtidas contém 0.0; 4.0; 8.0; 12.0; 16.0 e 20.0  $\mu\text{g}$  Pb/mL respectivamente. Se houver necessidade de outras concentrações, proceder de maneira similar.

6.3.11 Solução de peróxido de hidrogênio 3% V/V:

## 7 EXECUÇÃO DO ENSAIO

### 7.1 Princípio do método

O material particulado e o chumbo na forma gasosa são coletados isocineticamente ponto a ponto. O chumbo na forma de particulado é retido no filtro e na sonda e o chumbo gasoso absorvido numa série de borbulhadores que contêm ácido nítrico 0,1N. A amostra coletada é digerida em uma solução ácida e analisada por espectrofotometria de absorção atômica usando chama ar/acetileno.

### 7.2 Procedimento

Antes de iniciar a amostragem, certificar-se de que o equipamento esteja calibrado de acordo com a Norma Técnica CETESB E16.030.

#### 7.2.1 Preparação preliminar

7.2.1.1 Certificar-se visualmente que os filtros não apresentam qualquer irregularidade e numerá-los.

Nota: Caso se esteja determinando simultaneamente o material particulado, proceder conforme os itens 5.3.1.1 e 5.3.1.2 da Norma Técnica CETESB L9.225.

#### 7.2.2 Determinação preliminar

7.2.2.1 Selecionar o local de amostragem e o número de pontos na seção transversal de acordo com a Norma Técnica CETESB L9.221.

7.2.2.2 Determinar a pressão estática na seção de coleta.

7.2.2.3 Determinar a temperatura na seção de coleta.

7.2.2.4 Determinar a pressão de velocidade de acordo com a Norma Técnica CETESB L9.222.

7.2.2.5 Determinar a massa molecular seca de acordo com a Norma Técnica CETESB L9.223.

7.2.2.6 Determinar o teor de umidade de acordo com a Norma Técnica CETESB L9.224.

7.2.2.7 Determinar o tempo de coleta em cada ponto de acordo com a fonte a ser amostrada, não devendo este ser menor que 2,5 minutos. O tempo total de coleta não deve ser inferior a 60 minutos e o volume mínimo coletado de 900 L (273 K e 101325 Pa).

7.2.2.8 Selecionar a boquilha e a constante "K" de acordo com a Norma Técnica CETESB L9.225.

#### 7.2.3 Preparação dos equipamentos para a amostragem

7.2.3.1 Montar o trem de amostragem como mostra a Figura 1.

7.2.3.2 Colocar 100 mL de ácido nítrico 0,1N em cada um dos dois primeiros borbulhadores, deixando o terceiro vazio e o quarto com 200-300 g de sílica-gel.

7.2.3.3 Pesar os borbulhadores com precisão de 0,5 g e anotar suas massas em um formulário como o da Figura 2.

CETESB		PRODUTOS DE COMBUSTÃO, ÁGUA COLETADA E CHUMBO INORGÂNICO		
FIRMA		DATA		COLETA/AMOSTRAGEM
COMPONENTES	% ACUMULADA	% Br	Mx	Mx . Br
CO <sub>2</sub>			0,44	
O <sub>2</sub>			0,32	
CO			0,28	
N <sub>2</sub>			0,28	
TOTAL	100%	100%	Pms	
BORBULHADOR	MASSA DE ÁGUA COLETADA			
	FINAL	INICIAL	DIFERENÇA	
1				
2				
3				
4				
TOTAL				
SONDA, CICLONE E BORBULHADOR	MASSA DE CHUMBO INORGÂNICO COLETADO			
	mg			

FIGURA 2 - Modelo de formulário para produtos de combustão e água coletada

7.2.3.4 Colocar o filtro no porta porta-filtro.

7.2.3.5 Manter os borbulhadores no banho de gelo ou outro sistema de resfriamento equivalente.

7.2.3.6 Realizar o teste de vazamento como segue:

- ligar o sistema de aquecimento da sonda e do porta-filtro e aguardar até que se atinja a temperatura de  $120 \pm 10^\circ\text{C}$ ;
- abrir completamente a válvula de ajuste fino, fechar a válvula de ajuste grosso, ligar a bomba de vácuo e fechar a entrada da boquilha;

- c) abrir parcialmente a válvula de ajuste grosso e vagarosamente fechar a válvula de ajuste fino até que se atinja uma depressão de 50663 Pa (380 mmHg);
- d) para eliminar a depressão no sistema, abrir vagarosamente a entrada da boquilha até a equalização das pressões; e
- e) fechar a válvula de ajuste grosso e desligar a bomba.

Nota: A taxa de vazamento não deve exceder 0,6 L/min. Caso isto ocorra, eliminar o vazamento.

#### 7.2.4 Amostragem

7.2.4.1 Durante a amostragem, a temperatura do filtro e da sonda devem permanecer na faixa de  $120 \pm 10^\circ\text{C}$ .

7.2.4.2 Anotar a pressão barométrica e a leitura inicial do gasômetro. Nivelar e zerar os manômetros antes de iniciar a coleta.

7.2.4.3 Colocar a sonda no interior da chaminé ou duto no primeiro ponto, tendo o cuidado de verificar se a válvula do ajuste grosso está completamente fechada e a do ajuste fino completamente aberta.

7.2.4.4 Ligar a bomba e ajustar o fluxo, abrindo a válvula de ajuste grosso e, em seguida, ajustar a vazão com a válvula do ajuste fino para uma coleta isocinética e simultaneamente acionar o cronômetro. Considerar isocinética a amostragem no ponto se o valor calculado conforme 8.1.10, item a), estiver entre 90 e 110%.

7.2.4.5 Certificar-se de que a depressão no vacuômetro não exceda 50663 Pa (380 mmHg). Caso exceda, interromper a coleta e fazer o teste de vazamento conforme 7.2.3.6, com a depressão máxima ajustada durante a coleta.

Nota: Se o vazamento exceder 0,6 L/min, rejeitar a coleta.

7.2.4.6 Manter a temperatura dos gases que saem do último borbulhador abaixo de  $20^\circ\text{C}$ .

7.2.4.7 Do segundo ponto em diante, se necessário, ajustar a vazão para manter a isocineticidade em todos os pontos e repetir 7.2.4.5 e 7.2.4.6.

7.2.4.8 Anotar os dados durante a coleta em um formulário como o da Figura 3.

7.2.4.9 Determinar a massa molecular seca conforme a Norma Técnica CETESB L9.223.

7.2.4.10 No final da coleta, fechar a válvula de ajuste grosso, desligar a bomba de vácuo, retirar a sonda do interior da chaminé ou duto e registrar a leitura final do gasômetro.

7.2.4.11 Fazer teste de vazamento (como indicado em 7.2.3.6) na depressão máxima registrada durante a coleta. Se o vazamento exceder 0,60 L/min, rejeitar a coleta.

7.2.4.12 Calcular o valor da isocinética de acordo com 8.1.10 b). Considerar válida a coleta somente se o valor encontrado estiver na faixa de 90 a 110%.

FIRMA: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ PROCESSO: \_\_\_\_\_  
 TEMPO: \_\_\_\_\_ LOCAL: \_\_\_\_\_ P. ATM: \_\_\_\_\_  
 INICIO: \_\_\_\_\_ TÉRMINO: \_\_\_\_\_ T. AMBIENTE: \_\_\_\_\_  
 AMOSTRAGEM: \_\_\_\_\_

PONTO	TEMPO	DISTÂNCIA	VOLUME DO GÁS	Δ.P.	Δ.H.	VÁCUO	TEMPERATURA					
							GASÔMETRO		ULTIMO BOMBU-LHADOR	PORTA FILTRO	CYANINE	
							ENTRADA	SAÍDA				
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
			V. TOTAL	$\overline{\Delta P}$	$\overline{\Delta H}$	TEMPERATURA			TEMP.			

18 EIXO

22 EIXO

EQUIPE:  
 1 \_\_\_\_\_  
 2 \_\_\_\_\_  
 3 \_\_\_\_\_

PRESSÃO ESTÁTICA

						média
--	--	--	--	--	--	-------

FIGURA 3 - Modelo de folha de campo

### 7.2.5 Recuperação da amostra

7.2.5.1 Remover cuidadosamente para uma área limpa todas as partes do equipamento que contenham o material coletado.

7.2.5.2 Remover cuidadosamente o filtro com uma pinça e colocá-lo na placa de Petri identificada (recipiente 1). Caso seja necessário dobrar o filtro, a face com a amostra deverá ficar voltada para a parte interna da dobra. Transferir para a placa de Petri qualquer material aderido ao porta-filtro, usando uma escova de náilon seca.

**Nota:** Caso se esteja determinando simultaneamente o material particulado, proceder conforme os itens 5.3.1.1 e 5.3.1.2 da Norma Técnica CETESB L9.225. A seguir, transfira-o para o recipiente 1.

7.2.5.3 Lavar com uma solução de ácido nítrico 0,1N todo o material particulado aderido da boquilha até a metade anterior do porta-filtro. Tomar cuidado para que o material externo não contamine a amostra. Lavar até que nenhum material seja percebido visualmente, recolhendo a solução de lavagem em um frasco de vidro (recipiente 2).

**Nota:** Caso se esteja determinando simultaneamente o material particulado, proceder conforme o item 5.4.3 da Norma Técnica CETESB L9.225. A seguir, adotar o critério descrito neste item para recuperação da amostra contida no bequer, transferindo para o recipiente 2.

7.2.5.4 Desconectar os quatro borbulhadores da caixa fria. Pesar os borbulhadores com precisão de 0,5 g e anotar os valores em um formulário como o da Figura 2.

7.2.5.5 Fechar as aberturas dos três primeiros borbulhadores com parafilme ou rolha e agitá-los bem.

7.2.5.6 Retirar as rolhas ou parafilmes dos borbulhadores e transferir seu conteúdo para um frasco de vidro (recipiente 3). Enxaguar cada borbulhador com aproximadamente 30 mL de ácido nítrico 0,1N duas vezes recolhendo essa solução no mesmo recipiente. Enxaguar também as conexões que unem os borbulhadores com ácido nítrico 0,1N e recolher no mesmo recipiente.

7.2.5.7 Reservar 200 mL da solução de ácido nítrico 0,1N usado na amostragem e recuperação da amostra para a prova em branco.

### 7.2.6 Preparação da amostra e provas em branco

#### 7.2.6.1 Recipiente 1 (filtro)

Corte o filtro em tiras e transfira-as com todo o material particulado solto para um frasco Erlenmeyer de 125 mL. Lave a placa de Petri com 10 mL de HNO<sub>3</sub> (50%) para assegurar uma transferência quantitativa e coloque o conteúdo no frasco (obs.: se o volume total necessário no item 7.2.6 for maior que 80 mL utilize um frasco Erlenmeyer de 250 mL ao invés de 125 mL).

#### 7.2.6.2 Recipientes 2 e 3 (sonda e borbulhadores)

Verifique o nível do líquido nos frascos n<sup>os</sup> 2 e 3 para se assegurar de que não houve vazamento durante o transporte. No caso de ter ocorrido um vazamento considerável, anule a amostra. Misture os conteúdos dos frascos 2 e 3 e seque-os numa chapa de aquecimento.

#### 7.2.6.3 Extração de chumbo

Estime o peso total do particulado coletado. Transfira o resíduo dos frascos 2 e 3 para o frasco Erlenmeyer que contém o filtro, usando uma bagueta com ponta de neoprene e adicionando 10 mL de HNO<sub>3</sub> (50%) para cada 100 mg de amostra coletada ou 30 mL de HNO<sub>3</sub> (50%) o que for maior. Coloque o frasco Erlenmeyer em uma chapa de aquecimento e aqueça com agitação periódica por 30 minutos a uma temperatura ligeiramente abaixo da de ebulição. Se o volume da amostra estiver abaixo de 15 mL, adicione mais HNO<sub>3</sub> (50%). Coloque 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3%) e continue aquecendo por 10 minutos. Adicione 50 mL de água destilada e desionizada quente (80°C) e aqueça por 20 minutos. Remova o frasco da chapa de aquecimento e deixe esfriar. Filtre a amostra em filtro membrana Millipore ou equivalente e transfira o filtrado para balão volumétrico de 250 mL. Complete o volume do balão com água destilada e desionizada.

#### 7.2.6.4 Prova em branco do filtro

Faça a prova em branco do filtro usando dois filtros de cada lote de filtro, utilizado na coleta. Corte os filtros em tiras e coloque cada um deles em frasco Erlenmeyer de 125 mL. Adicione 15 mL de HNO<sub>3</sub> (50%) e siga o mesmo procedimento do item 7.2.6.3, utilizando 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3%) e 50 mL de água destilada e desionizada. Filtre e dilua a um volume total de 100 mL utilizando água destilada e desionizada.

#### 7.2.6.5 Prova em branco de HNO<sub>3</sub> (0.1N)

Coloque 200 mL de HNO<sub>3</sub> 0.1N para secar em banho-maria. Adicione 15 mL de HNO<sub>3</sub> (50%) e siga o mesmo procedimento descrito no item 7.2.6.3 usando 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3%) e 50 mL de água destilada e desionizada quente. Dilua para um volume total de 100 mL utilizando água destilada e desionizada.

#### 7.2.7 Análise de chumbo

##### 7.2.7.1 Calibração de espectrofotômetro

Meça a absorvância das soluções-padrão utilizando os ajustes recomendados pelo fabricante do aparelho. Repita o procedimento até que uma variação menor que  $\pm 3\%$  seja obtida em duas leituras consecutivas. Faça um gráfico colocando a absorvância no eixo y e a concentração de Pb  $\mu\text{g/mL}$  no eixo x. Trace ou calcule uma reta na parte linear da curva, não force a curva a passar pelo zero, mas se esta não passar pela origem ou estiver a mais de  $\pm 0,003$  unidades de absorvância distante do zero, verifique se os padrões foram preparados corretamente e se a curva de calibração é linear. Corra um branco e um padrão a cada 5 amostras e recalibre o aparelho se necessário.

### 7.2.7.2 Determinação de chumbo

Determine a absorvância de cada amostra, da prova em branco do filtro e da prova em branco do HNO<sub>3</sub> 0,1N. Analise cada amostra três vezes. Se necessário, faça diluições apropriadas para que as concentrações de chumbo se situem na faixa linear de absorvância do espectrofotômetro. Se a concentração de chumbo da amostra estiver próxima do limite inferior da curva de calibração e for necessária uma maior exatidão, seque a amostra numa chapa de aquecimento e dissolva o resíduo em um volume de água apropriado de modo que o resultado esteja na faixa ótima da curva de calibração.

### 7.2.7.3 Teste para averiguação dos efeitos de matriz na análise do chumbo

Uma vez que a análise de Pb por absorção atômica é sensível a composição química e propriedades físicas (viscosidade, pH) da amostra (efeitos da matriz), é necessário checar pelo menos uma amostra de cada fonte, utilizando o método de adição de padrão conforme o descrito a seguir.

Adicione o mesmo volume de uma solução padrão a uma alíquota da amostra, siga o mesmo procedimento para outra alíquota adicionando água de modo que as duas soluções tenham o mesmo volume final. Meça a absorvância das soluções resultantes. Calcule a concentração de Pb da amostra (C<sub>a</sub>) em µg/mL usando a seguinte equação:

$$C_a = C_p \frac{a}{t - a}$$

onde:

C<sub>p</sub> = concentração de Pb da solução padrão, µg/mL  
 a = absorvância da amostra diluída  
 t = absorvância da solução com adição de padrão

Se as soluções analisadas tiverem o mesmo volume final, correções de volume não são necessárias. C<sub>a</sub> e C<sub>p</sub> representam as concentrações de Pb antes das diluições. Se o resultado do método de adição de padrão, obtido na amostra de uma fonte exceder em 5% com o valor obtido na análise rotineira por absorção atômica, todas as amostras desta fonte devem ser reanalisadas pelo método de adição de padrão.

### 7.2.7.4 Cálculo da massa de chumbo

Para cada fonte amostrada, corrija a média de absorvância em função da prova em branco e a absorvância corrigida para determinar a concentração de chumbo em µg, da amostra analisada no espectrofotômetro. Calcule a massa de chumbo (m) em mg na fonte amostrada, levando em conta todas as diluições que foram feitas para que a concentração do Pb ficasse na faixa linear do espectrofotômetro.

### 7.2.8 Representatividade da amostragem

É necessário que a amostragem seja representativa das condições de operação da fonte de emissão. Deve-se então efetuar pelo menos duas

coletas por fonte. A amostragem deve ser considerada representativa se os resultados obtidos em cada amostra não forem discrepantes entre si.

## 8 RESULTADOS

### 8.1 Cálculos

Usando a nomenclatura de 8.2, proceder aos cálculos indicados em 8.1.1 a 8.1.15. Considerar 760 mmHg = 101325 Pa.

8.1.1 Pressão absoluta do gás na chaminé ou duto:

$$P = P_{atm} + P_e$$

8.1.2 Pressão absoluta no gasômetro:

$$P_g = P_{atm} + \overline{\Delta H}$$

8.1.3 Volume de água nas condições da chaminé ou duto nos casos de fluxo saturado e sem gotículas:

$$V_{ag} = \frac{0.461346 T M_{ag}}{P}$$

8.1.4 Volume de gás medido nas condições da chaminé ou duto:

$$V = \frac{Y V_g T P_g}{P T_g}$$

sendo que:

$$V_g = V_{gf} - V_{gi}$$

8.1.5 Umidade nos casos de fluxo não saturado e sem gotículas:

$$B_{ag} = \frac{V_{ag}}{V_{ag} + V}$$

8.1.6 Umidade nos casos de fluxo saturado ou com gotículas:

$$B_{ag} = \frac{PVS}{P_{atm} + P_e}$$

8.1.7 Volume de água nas condições da chaminé ou duto nos casos de fluxo saturado ou com gotículas:

$$V_{ag} = \frac{B_{ag} V}{1 - B_{ag}}$$

8.1.8 Massa molecular base úmida:

$$MM_u = MMs (1 - B_{ag}) + 18 B_{ag}$$

8.1.9 Velocidade média do gás na chaminé ou duto:

$$v = 128,96 \text{ Cp} \sqrt{\frac{T}{P \text{ MMu}}} (\sqrt{\Delta P})$$

8.1.10 Isocinética:

$$a) I' = \frac{0,0129 Y V'g Pg}{Cpe' Ab T'g (1 - B'ag) (\sqrt{\Delta P})'} \sqrt{\frac{P}{T' \text{ MMu}}}$$

$$b) I = \frac{1,667 (V + Vag)}{ve Ab}$$

8.1.11 Vazão nas condições da chaminé ou duto:

$$Q = 3600 \text{ vA}$$

8.1.12 Vazão nas condições normais (0°C e 101 325 Pa), base seca:

$$Q_{nbs} = \frac{0,0027 Q P (1 - Bag)}{T}$$

8.1.13 Volume do gás medido nas condições normais (0°C e 101325Pa), base seca:

$$V_{gn} = \frac{0,0027 Vg Pg Y}{Tg}$$

8.1.14 Concentração de chumbo nas condições normais, base seca:

$$C = \frac{m}{V_{gn}}$$

8.1.15 Taxa de emissão de chumbo:

$$Te = 10^6 C Q_{nbs}$$

## 8.2 Nomenclatura

Segue abaixo a nomenclatura, com respectivas unidades, utilizadas nos cálculos de 8.1.

Símbolo	Unidade	Significado
A	m <sup>2</sup>	área da chaminé.
Ab	m <sup>2</sup>	área da boquilha.
Bag	adimensional	umidade dos gases, expressa em termos de proporção, em volume, do vapor dos gases da chaminé ou duto.
B'ag	adimensional	umidade dos gases avaliada previamente para a seção de coleta, expressa em termos de proporção, em volume, do vapor de água nos gases da chaminé ou duto.
C	mg/Nm <sup>3</sup>	concentração de chumbo inorgânico nas condições normais, base seca.
Cp	adimensional	coeficiente do Pitot.
I	%	isocinética.
I'	%	isocinética no ponto de coleta no intervalo de tempo e'.
Mag	g	massa total de água coletada nos borbulhadores.
m	mg	massa total de chumbo inorgânico coletado.
MMS	g/g mol	massa molecular, base seca.
MMu	g/g mol	massa molecular, base úmida.
P	Pa	pressão absoluta do gás na chaminé ou duto.
Patm	Pa	pressão atmosférica.
Pe	Pa	pressão estática da chaminé ou duto.
Pg	Pa	pressão absoluta do gasômetro.
PVS	Pa	pressão do vapor de saturação.
Q	m <sup>3</sup> /h	vazão do efluente nas condições da chaminé ou duto.
Qnbs	Nm <sup>3</sup> /h	vazão do efluente nas condições normais, base seca.
T	K	temperatura absoluta média do gás na chaminé ou duto.
T'	K	temperatura absoluta do gás no ponto de coleta.

Símbolo	Unidade	Significado
$T_e$	Kg/h	taxa de emissão do chumbo inorgânico.
$T_g$	K	média das temperaturas médias do gás na entrada e saída do gasômetro.
$T'g$	K	média das temperaturas do gás na entrada e saída do gasômetro no ponto de coleta.
$v$	m/s	velocidade média do gás na chaminé ou duto.
$V$	m <sup>3</sup>	volume do gás medido no gasômetro nas condições da chaminé ou duto.
$V_{ag}$	m <sup>3</sup>	volume de água nas condições da chaminé ou duto.
$V_g$	m <sup>3</sup>	volume do gás seco medido no gasômetro nas condições de ensaio.
$V'g$	m <sup>3</sup>	volume do gás seco coletado no ponto de coleta, no intervalo de tempo $e'$ , medido no gasômetro nas condições de ensaio.
$V_{gf}$	m <sup>3</sup>	leitura final no gasômetro.
$V_{gi}$	m <sup>3</sup>	leitura inicial no gasômetro.
$V_{gn}$	Nm <sup>3</sup>	volume de gás medido nas condições normais, base seca.
$\gamma$	adimensional	fator de calibração do gasômetro.
$\overline{\Delta H}$	Pa	média aritmética das pressões do orifício.
$\Delta P$	Pa	pressão de velocidade da chaminé ou duto.
$e$	min	tempo total de coleta.
$e'$	min	tempo de coleta no ponto de coleta.
$(\sqrt{\Delta P})$	(Pa) <sup>0.5</sup>	média das raízes quadradas de $\Delta P$ .
$(\sqrt{\Delta P})'$	(Pa) <sup>0.5</sup>	raiz quadrada de $\Delta P$ no ponto de coleta.