



NORMA TÉCNICA

E16.030

4ª Edição
julho/2009
17 páginas

Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Calibração dos equipamentos utilizados na amostragem de efluentes gasosos

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

Primeira Edição

Março/1986.

Adenda

Julho/1989.

Segunda Edição

Maio/1991.

Terceira Edição

Maio/1995.

Quarta Edição

Julho/2009, homologada pela Decisão de Diretoria – D.D.. n. 246/09/P, de 06/10/09. Publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo – Caderno Executivo I, v.119, n. 193, de 15/10/09, Poder Executivo, Seção I, p. 31.

Sumário

Sumário	2
1.Escopo.....	2
2.Documentos Complementares	3
3.Definição	3
4.Calibração de Gasômetro Seco e Placa de Orifício.....	3
5.Calibração de Medidores de Volume para Baixas Vazões	7
6.Calibração de Tubo de Pitot.....	10
7.Calibração de Boquilha	13
8.Referências Bibliográficas	13
Anexo A - Planilha de Calibração de Medidor Seco e Placa de Orifício	14
Anexo B - Planilha de Calibração para Medidores de Baixa Vazão	15
Anexo C - Planilha de Calibração de Tubo de Pitot	16
Anexo D - Planilha de Calibração de Boquilhas.....	17

1. Escopo

Esta norma descreve a metodologia de calibração dos equipamentos: Gasômetro seco e Placa de Orifício, Medidor de volume para baixas vazões, Tubo de Pitot e Boquilha usualmente utilizados na amostragem de efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias.

2. Documentos Complementares

Os documentos relacionados a seguir contêm disposições que constituem fundamento para este procedimento. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisões e alterações, aqueles que realizam procedimentos com base nesta, devem verificar a existência de legislação superveniente aplicável ou de edições mais recentes das normas citadas.

Na aplicação desta norma sugere-se consultar:

UNITED STATES. Eletronic Code of Federal Regulations: title 40 protection of environment-part 60 standards of performance for new stationary sources. Disponível em: http://ecfr.gpoaccess.gov/cjil/text/text-idx?c=ecfr&sid=1428f125e7907dacf12347c448c6e256&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr60_main_02.tpl>. Acesso em: maio 2009.

ASTM. E1- 07: standard specification for ASTM liquid-in-glass thermometers.

UNITED STATES. EPA. Test Methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods. 3rd. Washington, DC, 1980-2009. (SW 846). Disponível em: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/index.htm>>. Acesso: jun. 2007.

3. Definição

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

3.1 Gasômetro seco: Equipamento utilizado para quantificar volume de gases. Constituído por registrador de volume e um conjunto de câmaras de medição de volume variável ligados mecanicamente a um conjunto de válvulas de distribuição, que controlam a direção do gás que irá encher e esvaziar as câmaras internas.

3.2 Placa de orifício: Este dispositivo é instalado no interior de uma tubulação, restringindo a passagem dos gases. Esta restrição cria um diferencial de pressão entre a montante e a jusante da placa, onde devidamente medido e interpretado, determina-se a vazão dos gases.

3.3 Túnel de vento: Duto com um trecho reto, provido de ventilador/exaustor com regulador de vazão, e que garanta na seção de ensaio a faixa de velocidade requerida para a calibração.

3.4 Tubo de Pitot: Dispositivo utilizado para medir a pressão de velocidade do fluxo gasoso conforme **item 6.1**. Consiste em dois tubos metálicos dispostos lado a lado, denominados tramo A e tramo B, onde um deles, dependendo do sentido do fluxo gasoso, medirá a pressão estática e o outro a pressão total.

3.5 Boquilha: Orifício localizado na extremidade da sonda de amostragem, utilizada nas coletas de efluentes gasosos quando requerida coleta isocinética.

4. Calibração de Gasômetro Seco e Placa de Orifício

4.1 Descrição do equipamento

O gasômetro seco e a placa de orifício são partes integrantes da unidade de controle, que deverão ser calibrados em conjunto com a bomba de vácuo, que compõe o equipamento isocinético.

4.2. Aparelhagem

4.2.1 Gasômetro úmido (padrão secundário)

4.2.2 Cronômetro

4.2.3 Termômetro

4.2.4 Barômetro

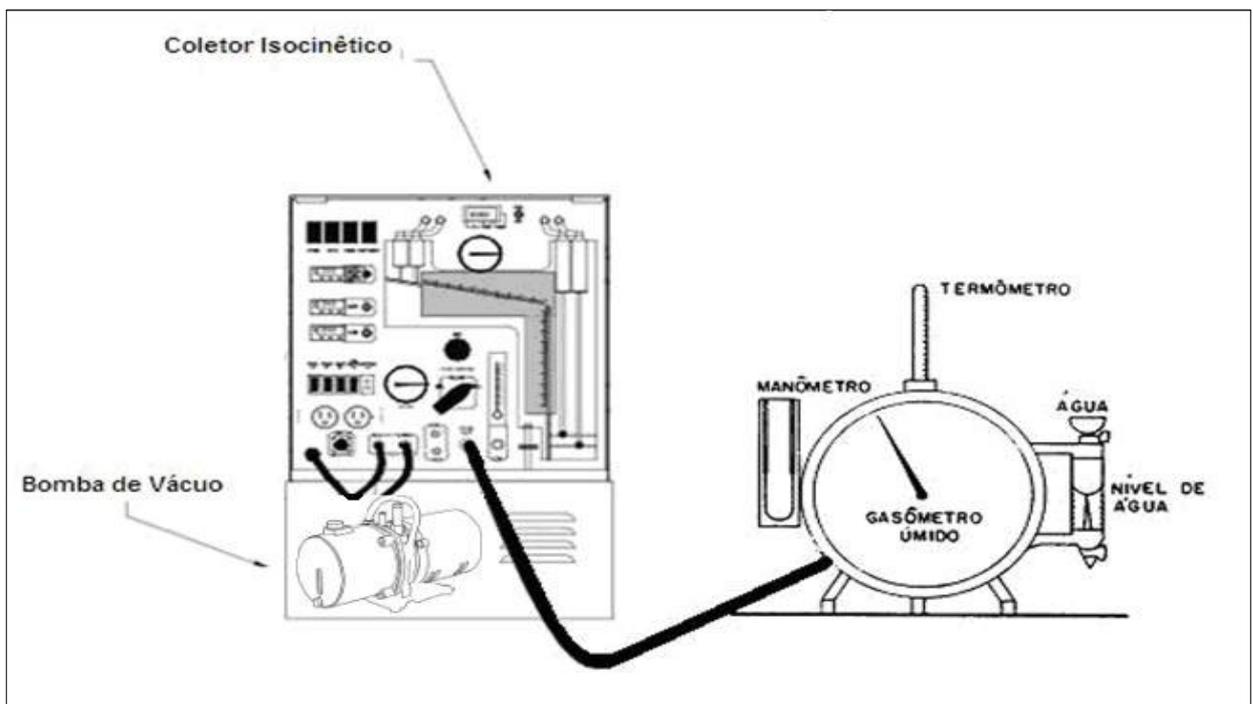
4.2.5 Higrômetro

Observação: Com exceção do item **4.2.1**, os demais equipamentos listados acima devem ser periodicamente calibrados por empresas acreditadas pela Rede Brasileira de Calibração (RBC).

4.3 Procedimento de calibração

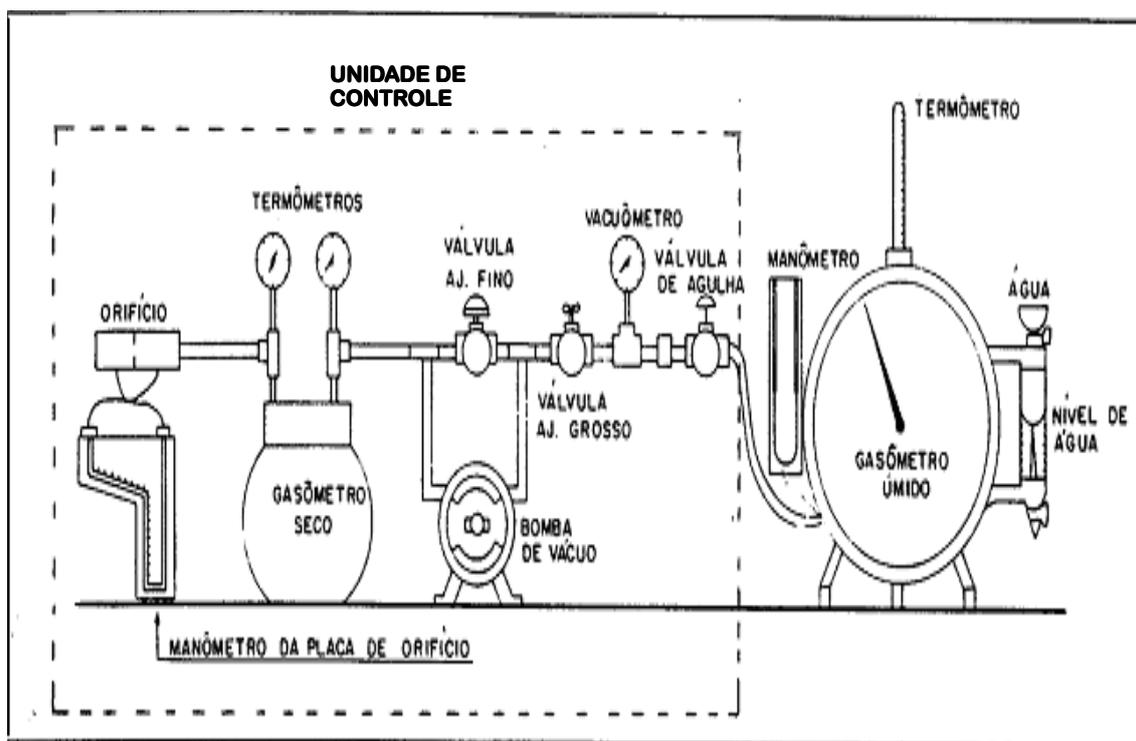
4.3.1 Montar aparelhagem como mostram as figuras 1 ou 2

Figura 1: Desenho esquemático da calibração



Fonte: CETESB

Figura 2: Descrição interna da unidade de controle



Fonte: CETESB

4.3.2 Teste de vazamento em pressão positiva

4.3.2.1 Para a realização deste teste, o equipamento deverá estar desconectado do Gasômetro Úmido (padrão secundário).

4.3.2.2 Fechar a entrada dos gases da unidade de controle.

4.3.2.3 Fechar o tubo de saída dos gases onde se encontra a placa de orifício.

4.3.2.4 Abrir as válvulas de ajuste grosso e fino.

4.3.2.5 Desconectar do manômetro a mangueira correspondente a parte posterior à placa de orifício e aplicar uma pressão até que o manômetro indique um deslocamento de 130mmCA (5,1pol.CA), fechar a mangueira e observar. O fluido manométrico deverá estabilizar-se, caso isto não ocorra, o vazamento deverá ser eliminado.

4.3.3 Teste de vazamento em pressão negativa (infiltração de ar)

4.3.3.1 Para a realização deste teste, o equipamento deverá estar desconectado do Gasômetro Úmido (padrão secundário).

4.3.3.2 Fechar a entrada dos gases da unidade de controle.

4.3.3.3 Ligar a bomba de vácuo e com o auxílio do ajuste grosso e fino regular a sua vazão até que o vacuômetro do equipamento indique o valor de 15pol.Hg (381mmHg), aguardar a equalização do sistema e observar o gásômetro seco. Se ocorrer uma leitura no gásômetro seco com vazão superior a 0,15L/min eliminar o vazamento.

4.3.3.4 Repetir o teste constante no item anterior para um valor lido no vacuômetro de 5pol.Hg (127mmHg).

4.3.4 Calibração

4.3.4.1 Como mostra a **Figura 1**, unir com um tubo flexível o gasômetro úmido (padrão secundário) à entrada dos gases da unidade de controle. Certificar-se que não haja vazamentos tanto na mangueira flexível como no gasômetro úmido

4.3.4.2 Os volumes e vazões utilizados na calibração do medidor e a placa de orifício estão descritos na Planilha de calibração de gasômetro seco e placa de orifício - **Anexo A**, e deverão ser realizados em ordem crescente e decrescente de vazão.

4.3.4.3 Ligar a bomba de vácuo e utilizando as válvulas de ajuste grosso e fino ajustar um deslocamento de 10mm CA (0,39 pol.H2O) lido no manômetro.

4.3.4.4 Fixar o volume de 100 litros que deverá passar no gasômetro úmido (**Anexo A**). Com o registrador de volume do gasômetro seco em movimento, simultaneamente acionar o cronômetro anotando o volume inicial do gasômetro seco.

4.3.4.5 Anotar na planilha de calibração (**Anexo A**), no início e no final de cada faixa de vazão, a leitura das temperaturas do gasômetro seco e do gasômetro úmido.

4.3.4.6 Quando o gasômetro úmido registrar o volume pré-determinado (100L), simultaneamente parar o cronômetro anotando o volume final do gasômetro seco.

4.3.4.7 Registrar na planilha a temperatura ambiente, pressão atmosférica local e a umidade relativa do ar.

4.3.4.8 Repetir os itens **4.3.4.3** à **4.3.4.6** para os demais deslocamentos manométricos (ΔH), de 25mm CA (0,98pol.CA), 40mmCA (1,57pol.CA), 50mm CA (1,97pol.CA) e 75mmCA (2,95pol.CA), observando que para deslocamentos manométricos a partir de 40mm CA (1,57pol.CA), os volumes serão de 200 litros.

4.4 Cálculos

4.4.1 Para o gasômetro seco:

$$FCM = \frac{VGu}{Vs} \times \frac{Tes}{TGu} \times \frac{(Pb - PGu)}{(Pb + \Delta H)}$$

4.4.2 Para a placa de orifício

$$\Delta H@ = \frac{0,156 \times \Delta H}{Pb \times Ts} \times \left[\frac{(TGu) \times \Theta}{Vu} \right]^2$$

4.5 Faixas de aceitação

4.5.1 Para o gasômetro seco

O fator de correção deverá estar entre 0,96 e 1,04. Os fatores de correção serão determinados a partir da média de dois valores obtidos em cada vazão.

4.5.2 Para placa de orifício

O Valor de $\Delta H@$ deverá estar entre 358,5 e 557,6Pa (36,58 e 56,9mmCA), em todas as vazões

4.6 Nomenclatura

VGu = volume de gás que passou através do gasômetro úmido durante a calibração. (m³);

Vs = volume de gás que passou pelo gasômetro seco durante a calibração. (m³);

Tgu = temperatura do gás durante calibração no gasômetro úmido. (K);

Te = temperatura do gás na entrada do gasômetro seco. (K);

Ts = temperatura do gás na saída do gasômetro seco. (K);

Tes = media aritmética de Te e Ts. (K);

ΔH = pressão diferencial do orifício. (Pa) ou (mmHg);

PGu = depressão do gasômetro úmido. (Pa) ou (mmHg);

Pb = pressão barométrica. (Pa) ou (mmHg);

Θ = tempo de cada teste. (min);

FCM = fator de correção do gasômetro seco. (adimensional);

ΔH@ = pressão diferencial no orifício em cada tomada, caso por ele passasse uma vazão de 0,01979 Nm³/min, de ar na condição normal (0°C e 101.325,0Pa).

4.7 Periodicidade

A periodicidade da calibração deverá ser a cada 40m³ ou a cada seis meses.

5. Calibração de Medidores de Volume para Baixas Vazões

5.1 Metodologia

Esta metodologia atende a calibrações em medidores de volume que fazem parte dos equipamentos utilizados em amostragens de dutos e chaminés de fontes estacionárias onde são requeridas vazões de coleta inferiores a 2,0L/min.

5.2 Aparelhagem

5.2.1 Gasômetro úmido (padrão secundário)

5.2.2 Cronômetro

5.2.3 Termômetro

5.2.4 Barômetro

5.2.5 Higrômetro

Observação: Com exceção do item **5.2.1**, os demais equipamentos listados acima devem ser periodicamente calibrados por empresas acreditadas pela Rede Brasileira de Calibração (RBC).

5.3 Procedimento de calibração

5.3.1 Teste de vazamento (infiltração de ar)

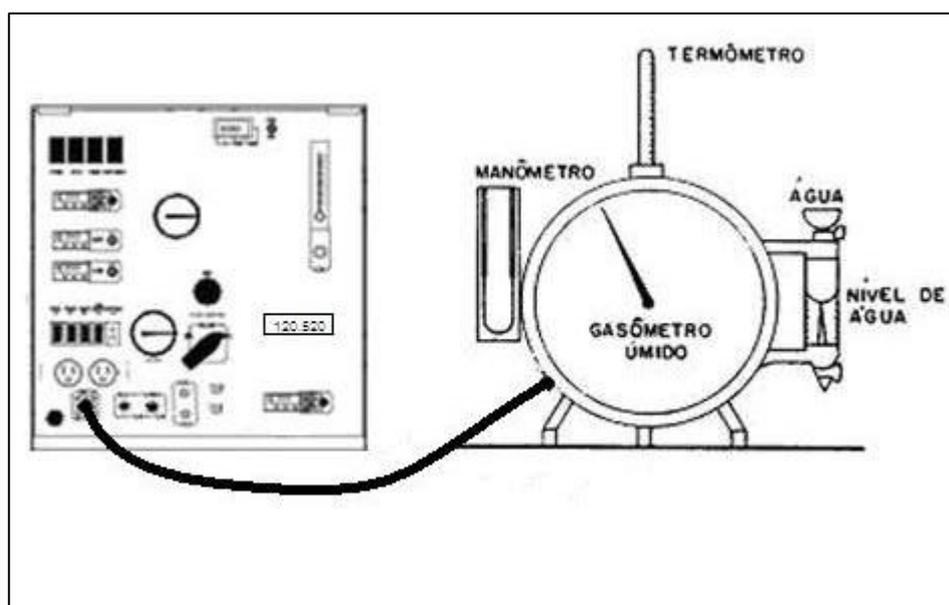
5.3.1.1 O Teste de vazamento deverá ser realizado estando o medidor desconectado do gasômetro úmido

5.3.1.2 Fechar a entrada dos gases da unidade de controle.

5.3.1.3 Ligar o equipamento e com o auxílio do ajuste grosso e fino regular até o vácuo máximo permitido pela bomba, aguardar a equalização do sistema e observar o registrador de volume sendo que o mesmo não poderá apresentar alteração durante o teste, ou seja, deverá estar livre de vazamento.

5.3.1.4 Montar aparelhagem como mostra a **figura 3**, certificando-se que não haja vazamentos na mangueira flexível e no gasômetro úmido.

Figura 3: Medidor de volume para baixa vazão



Fonte: CETESB

5.3.2 Calibração

5.3.2.1 Ligar o equipamento e ajustar com o auxílio dos ajustes grosso e fino, uma vazão aproximada de 2L/min observada no gasômetro úmido (padrão secundário), utilizando o cronômetro.

5.3.2.2 Fixar o volume em 24 litros que deverá passar no gasômetro úmido. Com o leitor de volume do gasômetro seco em movimento, disparar o cronômetro, anotando o volume inicial do gasômetro seco.

5.3.2.3 Quando o gasômetro úmido registrar o volume determinado, parar o cronômetro anotando o volume final do gasômetro seco.

5.3.2.4 Anotar na planilha de calibração de medidores de volume para baixas vazões – **Anexo B**, a leitura das temperaturas e pressões dos gasômetros seco e úmido, no início e no final de cada teste,

5.3.2.5 Repetir os itens **5.3.2.2** à **5.3.2.4**, para as vazões de 1,0 e 0,5L/min., observando que para a vazão 0,5L/min., o volume do teste seja de 18 litros.

5.3.2.6 Os testes deverão ocorrer em triplicata para cada vazão e os fatores de correção serão determinados pela média.

5.4 Cálculos

$$FCM = \frac{V_{Gu}}{V_s} \times \frac{T_{es}}{T_{Gu}} \times \frac{(P_b - P_{Gu})}{(P_b - P_s)}$$

5.5 Faixa de aceitação dos resultados

O Fator de correção do gasômetro seco deverá estar entre 0,96 e 1,04

5.6 Nomenclatura

V_{Gu} = volume de ar que passou através do gasômetro úmido durante a calibração. (L);

V_s = volume de ar que passou no gasômetro seco durante a calibração. (L);

T_{Gu} = temperatura interna do gasômetro úmido durante calibração. (K);

T_e = temperatura do ar na entrada do gasômetro seco. (K);

T_s = temperatura do ar na saída do gasômetro seco. (K);

T_{es} = média aritmética da temperatura de entrada e saída. (K);

P_s = pressão do gasômetro seco. (Pa ou mmHg);

P_{Gu} = pressão do gasômetro úmido. (Pa ou mmHg);

P_b = pressão barométrica. (Pa ou mmHg);

FCM = fator de correção do gasômetro seco (adimensional)

5.7 Periodicidade

A periodicidade da calibração deverá ser trimestral.

6. Calibração de Tubo de Pitot

6.1 Descrição do equipamento

O Tubo de Pitot é utilizado em amostragens em dutos e chaminés de fontes estacionárias para determinação da pressão de velocidade do fluxo gasoso.

6.2 Aparelhagem

6.2.1 Túnel de vento - duto com um trecho reto, provido de ventilador/exaustor com regulador de vazão, e que garanta na seção de ensaio a faixa de velocidade requerida para a calibração.

Observação: Faz-se necessário garantir na seção de teste, um perfil de velocidade uniforme e um fluxo estável, podendo ser instalado direcionador de fluxo ou ter o comprimento do duto alongado. Recomenda-se que a seção do duto onde é realizado o teste seja de material transparente para facilitar o alinhamento do tubo de Pitot.

6.2.2 Tubo de Pitot padrão

6.2.3 Tubos flexíveis

6.2.4 Manômetro de coluna inclinado

6.2.5 Termômetro

6.2.6 Barômetro

6.2.7 Higrômetro

Observação: Com exceção dos itens **6.2.1** à **6.2.3**, os demais equipamentos listados acima, deverão estar calibrados por empresas acreditadas pela Rede Brasileira de Calibração (RBC).

6.3 Teste de vazamento

6.3.1 Antes de iniciar o teste de vazamento no tubo de Pitot a ser calibrado, certificar-se que as mangueiras flexíveis e os manômetros utilizados na calibração, estejam livres de vazamento.

6.3.2 Conectar os tramos "A" e "B".do tubo de Pitot no manômetro de dupla escala utilizando mangueiras flexíveis.

6.3.3 Aplicar um deslocamento do fluido manométrico até o valor máximo permitido na escala e fechar o tramo. O fluido deverá cessar seu deslocamento, caso isto não ocorra, indica que há vazamento no tramo, devendo ser eliminado.

6.3.4 O teste deverá ser feito nos dois tramos.

6.4 Procedimento de calibração

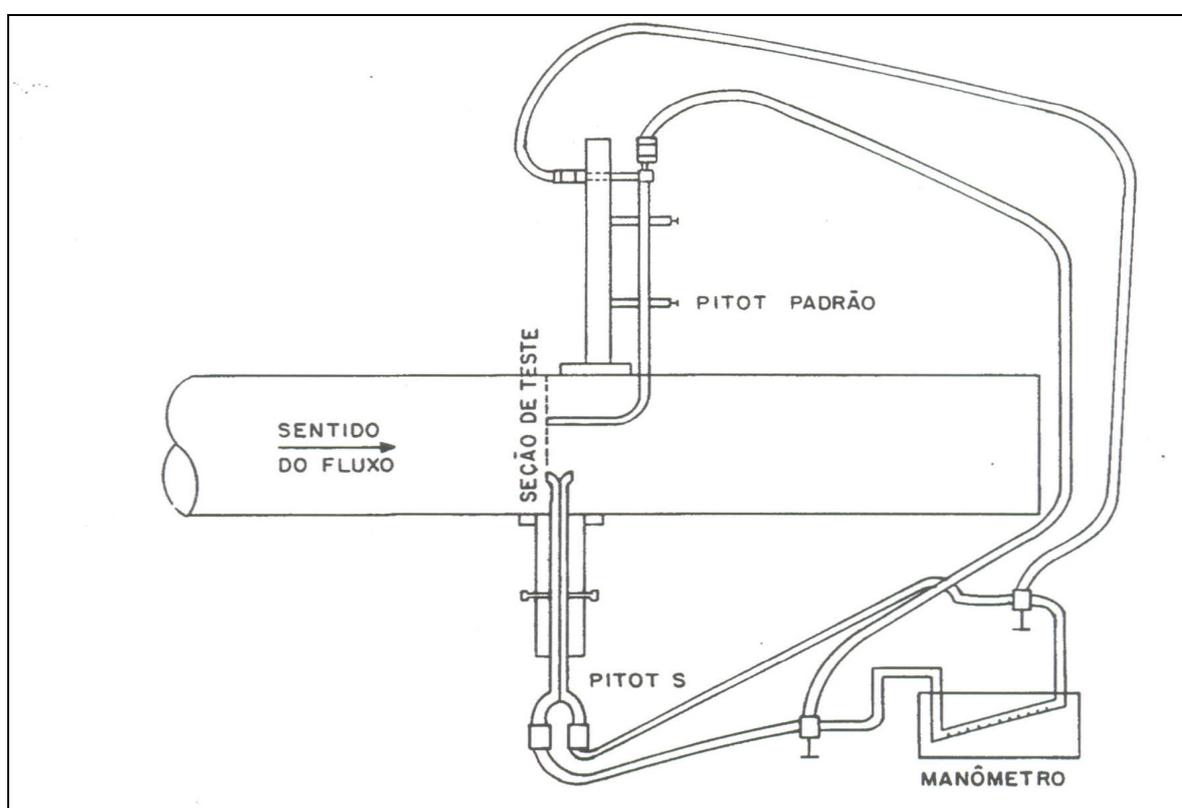
6.4.1 Montar a aparelhagem como mostra a **figura 4**.

6.4.2 Posicionar no túnel de vento o Pitot padrão e o Pitot a ser calibrado, fixando-os de forma que fiquem com a mesma distância entre eles e a parede do túnel de vento.

6.4.3 Observar que os Pitot's estejam bem alinhados de forma que suas faces de impacto (Pressão total) estejam posicionadas contra o sentido do fluxo.

Ex. para duto de 0,3m, tanto o Pitot padrão como o Pitot a ser calibrado deverão ser posicionados a 10cm da parede do duto, ou seja, estarão na mesma seção de calibração, porém, com distância de 10cm entre eles.

Figura 4 – Posicionamento dos equipamentos no túnel de vento



Fonte: CETESB

6.4.4 Nivelar e zerar o manômetro. Anotar na Planilha de Calibração de Tubo de Pitot - Anexo C, a pressão atmosférica, temperatura ambiente e umidade relativa.

6.4.5 Ligar o ventilador/exaustor e ajustar a vazão até obter a pressão de velocidade requerida. Aguardar a estabilização e anotar os diferenciais de pressão (ΔP) do Pitot a ser calibrado e do Pitot padrão, na planilha de calibração (**Anexo C**).

6.4.6 Após a realização de todas as leituras do tramo A, inverter a posição do Pitot que está sendo calibrado, repetindo os itens **6.4.4** e **6.4.5** para o tramo B, invertendo também as mangueiras conectadas no manômetro.

Observação: Os tubos de Pitot podem ser calibrados separadamente ou em conjunto com a sonda, boquilha e termopar. Caso se queira calibrar o conjunto, adotar os procedimentos indicados no Code

Federal Regulations 40 Part 60, App A, Method 2. (EPA).

6.5 Cálculos

6.5.1 Cálculo da velocidade

$$V = K \times CP_{\text{padrão}} \times \sqrt{\frac{T \times \Delta P_{\text{padrão}}}{P_b \times MM}}$$

6.5.2 Cálculo do coeficiente do Tubo de Pitot (tramo A ou B)

$$CP_{\text{tramo A/B}} = CP_{\text{padrão}} \times \sqrt{\frac{CP_{\text{padrão}}}{CP_{\text{tramo A/B}}}}$$

6.6 Faixa de aceitação dos resultados

6.6.1 Para tubos de Pitot "S"

6.6.1.1 Faixas de velocidade entre 3 a 5m/s, o coeficiente do Pitot deverá estar entre 0,799 a 0,901

6.6.1.2 Faixas de velocidade entre 5 a 15m/s, o coeficiente do Pitot deverá estar entre 0,824 a 0,876

6.6.1.3 Faixas de velocidade entre 15 a 50m/s, o coeficiente do Pitot deverá estar entre 0,799 a 0,901

6.6.1.4 A diferença entre o Cp's do tramos A e B deverão ser iguais ou menor do que 0,01

6.6.2 Para tubos de Pitot tipo Padrão e Cobra

6.6.2.1 Para todas as Faixas de velocidade o fator de correção deverá estar entre 0,970 a 1,010

6.7 Nomenclatura

V = velocidade em m/s

$$K = 128,96 \left[\frac{g/gmol}{K} \right]^{0,5}$$

CP padrão = 0,99 (coeficiente do Pitot padrão). (adimensional);

CP = Pitot tramo A/B (coeficiente do tubo de Pitot tramo A/B). (adimensional);

Pb = Pressão barométrica. (mm Hg ou Pa);

T = Temperatura ambiente (K);

MM = Massa molecular do ar. (g/g mol - admitir 28,84g/g mol);

ΔP padrão - Leitura do diferencial de pressão do Pitot padrão. (mmHg ou Pa ou mmCA ou pol CA)

ΔP tramo A/B - Leitura do diferencial de pressão do Pitot a ser calibrado. (mmHg ou Pa ou mmCA ou pol.CA)

7. Calibração de Boquilha

7.1 Metodologia

Esta metodologia descreve a calibração de boquilha, componente que em conjunto com a sonda, tubo de Pitot e termopar são utilizadas na amostragem de dutos e chaminés de fontes estacionárias. Recomenda-se calibrar a boquilha caso sofra qualquer avaria.

7.2 Aparelhagem

7.2.1 Paquímetro calibrado por empresas acreditadas pela Rede Brasileira de Calibração (RBC).

7.3 Procedimento de calibração

7.3.1 Realizar uma inspeção visual da boquilha para verificar a existência de algum tipo de deformação e/ou corrosão, em caso positivo, a boquilha deverá ser reparada previamente.

7.3.2 Com o paquímetro, medir o diâmetro interno a cada 45° e anotar na Planilha de Calibração de Boquilha – Anexo D.

7.3.3 Calcular a diferença entre o maior e o menor dos diâmetros. Caso esta diferença encontre-se acima de 0,1mm, a boquilha deverá ser reparada e recalibrada.

8. Referências Bibliográficas

UNITED STATES. EPA. **Test Methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods**. 3rd. Washington, DC, 1980-2009. (SW 846). Disponível em:
<<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/index.htm>>. Acesso: jun. 2007.

.../Anexo – A

Anexo A - Planilha de Calibração de Medidor Seco e Placa de Orifício

Pressão barométrica (Pa): _____ Umidade relativa (%): _____

Temperatura ambiente (°C): _____ FCM Gasômetro Úmido: _____

Responsável: _____ Data da calibração: _____

Δ H (mm CA)	Volume (L)		Temperatura (°C)			Tempo	FCM	ΔH@ (Pa)
	Medidor úmido (VGu)	Medidor seco (Vs)	Medidor úmido	Medidor seco		Minutos		
				Te	Ts			
10	100							
25	100							
40	200							
50	200							
75	200							

.../Anexo -B

Anexo B - Planilha de Calibração para Medidores de Baixa Vazão

Pressão barométrica (Pa) : _____ Umidade relativa (%): _____

Temperatura ambiente (°C): _____ FCM Gasômetro Úmido: _____

Responsável: _____ Data da calibração: _____

Gasômetro Seco					Gasômetro Úmido					
Vazão 2,0 L/min.										
Volume (L)	Temperatura (°C)		Pressão (mm CA)	Volume (L)	Temperatura (°C)	Depressão (mm CA)	Tempo (min.)	Vazão (L/min.)		
	entrada	saída								
1										
2										
3										
Vazão 1,0 L/min.										
1										
2										
3										
Vazão 0,5 L/min.										
1										
2										
3										

.../Anexo – C

Anexo C - Planilha de Calibração de Tubo de Pitot

Pressão barométrica (Pa): _____ Umidade relativa (%): _____

Temperatura ambiente (°C) _____

Responsável: _____ Data da calibração: _____

Faixa de Velocidade (m/s)	Pressões de Velocidade (mm CA)		CP Tramo A	CP Tramo B	
	Tubo de Pitot Padrão	Tubo de Pitot a ser calibrado			
		Tramo A			Tramo B
3 à 5	0,5				
	1,4				
5 à 15	3,0				
	5,6				
	11,5				
15 à 50	30,0				
	52,0				
	102,0				

.../Anexo – D

