

CONSIDERAÇÕES SOBRE A DETERMINAÇÃO DO FATOR Y DE GASÔMETRO SECO

Informativo técnico

| ÍNDICE | | |
|--------|-------------------------------------|--------|
| Item | Descrição | Página |
| 1.0 | Introdução | 1 |
| 2.0 | Determinação do Fator de Correção Y | 1 |
| 3.0 | Critérios de Aceitação do Fator Y | 2 |
| 4.0 | Avaliação Metrológica de Gasômetros | 2 |
| 5.0 | Tolerâncias do Valor Médio Y | 4 |
| 6.0 | Conclusões | 5 |
| 7.0 | Bibliografia | 5 |

Responsável:

José Walderley Coêlho Dias

ENERGÉTICA - RIO DE JANEIRO

Data desta versão: 21/02/07

1.0 Introdução

O presente trabalho tem como objetivo discutir os procedimentos utilizados para a determinação do fator de correção Y do gasômetro seco de Coletores Isocinéticos de Poluentes Atmosféricos (CIPA) e procurar dirimir algumas dúvidas que têm surgido no Brasil, particularmente com respeito aos critérios de aceitação do citado fator (Y).

A ENERGÉTICA, fabricante do CIPA, vem, há muito tempo, realizando ensaios do equipamento seguindo a norma NBR 12020 da ABNT (Ref. 1). Como é do conhecimento, a NBR 12020 foi montada com base no Método nº 5 da US EPA (Ref. 2). Ambas a ABNT e a US EPA utilizam coerentemente os mesmos critérios para aceitação do Y.

O ensaio é efetuado normalmente em 6 pontos, numa faixa de aproximadamente 10 a 30 L/min. É tirada a média destes 6 pontos, resultando o fator de correção Y. Os critérios de aceitação de Y, estabelecidos por ambas a ABNT e US EPA, ditam apenas que os valores individuais, Y_i , para cada ponto de ensaio, não difiram em mais de 2% com relação a Y. Nem a ABNT nem a US EPA estabelecem tolerâncias para o valor médio Y.

Pretendemos, no presente trabalho, mostrar que os critérios de aceitação da ABNT e US EPA, mesmo não estabelecendo tolerâncias para o fator Y, são metrologicamente corretos e coerentes.

2.0 Determinação do Fator de Correção Y

Tanto a ABNT (Ref. 1) como a US EPA (Ref. 2) utilizam o mesmo procedimento para a determinação de Y.

O gasômetro seco instalado na unidade de controle do trem de amostragem em dutos e chaminés é normalmente calibrado contra um gasômetro úmido. A calibração é feita simultaneamente com a da placa de orifício, com a qual se obtém as perdas de carga ΔH_i no gasômetro. A calibração é efetuada normalmente em 6 pontos, numa faixa de aproximadamente 10 a 30 L/min, correspondendo a valores de ΔH de 10 a 100 mm H₂O. Para cada vazão, ou ΔH_i correspondente, é determinado o valor de cada tomada Y_i .

O resultado do ensaio do Gasômetro Seco é o Fator de Correção do Gasômetro Seco, Y, média dos Fatores de Correção individuais, Y_i , dado por:

$$Y = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6}{6} \quad (\text{Equação 1})$$

Os Fatores de Correção individuais, Y_i , são expressados por:

$$Y_i = \frac{V_{ui} P_{atm} (t_{si} + 273)}{V_{si} \left(P_{atm} + \frac{\Delta H_i}{13,6} \right) (t_{ui} + 273)} \quad (\text{Equação 2})$$

onde, para cada rodada:

- Y_i = fator de correção (adimensional)
- V_{ui} = volume de gás que passa pelo gasômetro úmido (em m³)
- P_{atm} = pressão barométrica (mm Hg)
- t_{si} = temperatura média do gás no interior do gasômetro seco (°C)
- V_{si} = volume de gás que passa pelo gasômetro seco (em m³)
- ΔH_i = pressão diferencial através do orifício (mm H₂O)
- t_{ui} = temperatura do gás no interior do gasômetro úmido (°C)

3.0 Critérios de Aceitação do Fator Y

Conforme já citado, os critérios de aceitação da ABNT e US EPA são idênticos.

A ABNT, no Item 5.1.2.6 da Ref. 1, estabelece: "Se os valores de Y_i estiverem dentro da faixa $Y \pm 0,02Y$, adotar o valor de Y como fator de correção do gasômetro seco. Caso contrário, rejeitar o gasômetro seco." Nota: o valor da faixa de Y como está na Ref. 1 está incorreto. É " $Y \pm 0,02Y$ " e não " $Y \pm 0,2Y$ "; provavelmente erro de digitação.

A US EPA, por sua vez, na Seção 3.4.2 da Ref. 3, estabelece: "Clean, adjust, and recalibrate, or reject the dry gas meter if one or more values of Y fall outside the interval $Y \pm 0,02Y$. Otherwise, the average Y is acceptable and should be used for future checks and subsequent test runs."

Lembrar que Y_i é calculado pela Equação 2 e Y, pela Equação 1.

Vale frisar que nem a ABNT (Ref. 1) nem a US EPA (Ref. 2) estabelece qualquer limite para o fator Y. Por exemplo, o valor do fator de correção Y poderia ser 1,050 (erro de - 4,76%) ou 0,950 (erro de + 5,26%) e ser aceito.

4.0 Avaliação Metrológica de Gasômetros

Suponhamos os ensaios de dois gasômetros diferentes, obtendo-se os seguintes resultados:

| Tabela 1 | | | | | |
|-----------------|--------------|--------|------------------|--------------|--------|
| Gasômetro 1 | | | Gasômetro 2 | | |
| Fator Y | Valor Y_i | Desvio | Fator | Valor | Desvio |
| $Y_1 =$ | 1,028 | -0,013 | $Y_1 =$ | 0,962 | -0,038 |
| $Y_2 =$ | 1,048 | -0,007 | $Y_2 =$ | 0,983 | -0,017 |
| $Y_3 =$ | 1,056 | 0,015 | $Y_3 =$ | 1,038 | 0,038 |
| $Y_4 =$ | 1,055 | 0,014 | $Y_4 =$ | 1,035 | 0,035 |
| $Y_5 =$ | 1,035 | 0,006 | $Y_5 =$ | 1,015 | 0,015 |
| $Y_6 =$ | 1,023 | -0,018 | $Y_6 =$ | 0,969 | -0,031 |
| Média Y= | 1,041 | | Média Y = | 1,000 | |

Analisando-se os resultados acima, vê-se que o Gasômetro 1 passa pelos critérios de aceitação da ABNT e US EPA, visto que os desvios estão dentro da faixa de $\pm 0,0208$ ($\pm 0,02 \times 1,041$). Já o Gasômetro 2, mesmo com fator Y = 1,000, não passa pelos critérios de aceitação, visto que quatro dos desvios estão fora da faixa $\pm 0,02$ ($\pm 0,02 \times 1,000$).

Demonstraremos a coerência dos critérios de aceitação, fazendo uma rápida avaliação e comparação metrológica dos dados gerados com os dois gasômetros (ver dados na Tabela 1), utilizando, para isso, conceitos de "erro de medição" e "incerteza de medição", descritos abaixo.

4.1 Erro de Medição

Para definição de erro, recorreremos à norma da ABNT para medidores de gás instalados em residências, ou seja, a NBR 13127 (Ref. 3), que, na Seção 3.13, define "erro de medição" pela equação:

$$E = \frac{(V_s - V_u)}{V_u} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

onde V_s e V_u são os valores dos volumes corrigidos, medidos respectivamente no gasômetro seco e no gasômetro úmido (padrão). Em termos de Y, a Equação 3 pode ser representada por:

$$E = \frac{(1-Y)}{Y} \times 100 \quad (\text{Equação. 4})$$

O Erro (E), conforme expressado na Equação 4, pode também ser denominado "erro sistemático", visto ser função do valor médio Y (no caso média de 6 valores individuais Y_i)

Os valores de E para os Gasômetro 1 e Gasômetro 2 do nosso exemplo estão apresentados na Tabela 2.

| Tabela 2: Erro de Medição | | | |
|---------------------------|---------|-------------|-------|
| Gasômetro 1 | | Gasômetro 2 | |
| Média Y= | 1,041 | Média Y = | 1,000 |
| Erro (E) = | -3,94 % | Erro (E) = | 0 |

Faz-se oportuno frisar que o fato de o Gasômetro 1 apresentar um erro (sistemático) bem maior - em valor absoluto - do que o Gasômetro 2 não necessariamente o qualifica como de pior qualidade em comparação a este. Isto porque, por exigência de todas as normas de ensaio de CIPA, os erros são corrigidos. Como vai ser discutido na seção seguinte, o que realmente garante a boa qualidade de um gasômetro é sua baixa dispersão de leituras repetitivas. Quanto menor é a dispersão, menor os erros aleatórios, ou as incertezas, da medição.

Repetindo, cabe enfatizar que o Y é um fator de "correção" e, como tal, tem a função de "corrigir" erros sistemáticos de medição. Mesmo que o usuário se depare com erros sistemáticos significativos, como, por exemplo, + 10%, basta determinar Y pela Equação 4 - $Y = 0,909$ no caso - e aplicá-lo na correção das leituras obtidas.

Como foi citado na Seção 3.0, nem a ABNT (Ref. 1) nem a US EPA (Ref. 2) estabelece qualquer limite para o fator Y. Entretanto, é possível, para a maioria dos gasômetros, ajustar o totalizador (ou indicador) do instrumento de modo que o Y fique o mais próximo possível de 1 (erro sistemático zero). Na maioria dos gasômetros instalados no CIPA - por exemplo, das marcas LAO e Actaris -, o ajuste se daria por troca de engrenagens do totalizador. Isso não é feito corriqueiramente por causa da dificuldade de obtenção das engrenagens apropriadas junto aos fornecedores e por se tratar de um serviço bastante trabalhoso.

4.2 Incerteza de Medição

De acordo com a Seção B.2.18 do GUM (Ref. 4), "incerteza de medição" é definida como "parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos a um mensurando". Quanto menor é a dispersão, menor a incerteza da medição. Analisando os valores dos desvios dos Gasômetro 1 e Gasômetro 2 na Tabela 1, dá para ver de imediato que o Gasômetro 1 é superior ao Gasômetro 2.

As incertezas de uma medição podem originar-se de fontes as mais variadas. Neste trabalho, para comparação dos gasômetros dos exemplos acima, estamos considerando apenas as fontes associadas à distribuição estatística dos resultados da série de 6 medições para cada gasômetro (ver Tabela 1). Estamos deixando de fora as fontes associadas com os vários padrões na determinação do Y (ver Equação 2), visto que estas fontes tendem a ser da mesma magnitude para ambos os gasômetros.

Portanto, supondo que a única incerteza na determinação do fator Y (valor médio dos Y_i) é aquela associada ao desvio padrão amostral das 6 leituras de Y_i , utilizaremos as equações abaixo para a determinação das incertezas expandidas (U), tiradas do Guia para Expressão da Incerteza de Medição da ISO (Ref. 4).

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{n-1}} \quad (\text{Equação. 5})$$

$$u = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \quad (\text{Equação. 6})$$

$$U = k \times u \quad (\text{Equação. 7})$$

onde: Y_i = valor individual do fator de correção
 Y = média do fator de correção
 n = número de observações (6 no caso)
 s_p = desvio padrão experimental
 u = incerteza padrão
 k = fator de abrangência
 U = incerteza expandida

Os valores de U para nosso exemplo, com $k = 2,649$ (nível de confiança de 95,45%), são apresentados na Tabela 3.

| Tabela 3: Incerteza da Medição | | |
|---|--------------------|--------------------|
| | Gasômetro 1 | Gasômetro 2 |
| Média do fator de correção (Y) = | 1,041 | 1,000 |
| Incerteza expandida (U) = | 0,015 | 0,036 |

Depreende-se, com base nos dados de U na Tabela 3, que o Gasômetro 1 é melhor, do ponto de vista de metrologia, do que o Gasômetro 2.

Portanto, um gasômetro ideal para amostragem em chaminé seria aquele cujas leituras na faixa de trabalho de interesse se desviassem o menor possível do valor médio na faixa. Infelizmente, gasômetros com faixas de exatidão mais rígidas de aceitação tendem a ser caros com relação aos gasômetros de uso comum em instalações residenciais. Estes gasômetros com faixas de exatidão mais rígidas de aceitação podem ser utilizados como "padrão intermediário" para calibrar gasômetros comuns.

5.0 Tolerâncias do Valor Médio Y

Após uma busca criteriosa na NBR 12020 (Ref. 1) e no manual da garantia da qualidade da US EPA (Ref. 2), a conclusão a que chegamos é que nenhuma das entidades estabelece tolerância para o valor médio Y (determinado pela Equação 1).

Pesquisamos também em outras fontes e localizamos uma - o livro "Fundamentals of Air Sampling", de Gregory D. Wight (Ref. 5) - que cita: "Se nenhum dos valores individuais for maior que $\pm 0,02$ com relação à média de todos os dados, e se esta média Y estiver entre 0,95 e 1,05, os dados são aceitáveis. O valor médio de Y será então empregado para corrigir todas as leituras do medido de gás seco obtidos durante a amostragem para o volume real". Entretanto, não localizamos, no livro de Gregory D. Wight, os fundamentos técnicos para a citação acima, de modo que não podemos considerar como formais as tolerâncias acima para Y . A propósito, o livro de Gregory D. Wight consta do Catálogo de Publicações da AWMA (Air and Waste Management Association), daí a considerá-lo como confiável.

6.0 Conclusões

Da metrologia moderna, tira-se dois conceitos importantes para a avaliação de ensaios de gasômetros secos empregados em amostragem em chaminé:

- O "erro sistemático" determinado em ensaios de gasômetros secos para uso em amostragem em chaminé não pode servir de parâmetro para qualificá-lo ou desqualificá-lo. Isto porque o "erro" é corrigido;
- O que realmente garante a boa qualidade de um gasômetro é sua baixa dispersão de leituras repetitivas. Quanto menor é a dispersão, menor os erros aleatórios, ou as incertezas, da medição.

Com base nos conceitos acima, pode-se afirmar sobre os critérios de aceitação para o fator de correção Y:

- Os critérios da ABNT e US EPA, estabelecendo tolerâncias apenas para valores individuais com relação à média, ou seja, $Y \pm 0,02Y$, e não impondo qualquer limite de tolerância para a média Y, são congruentes do ponto de vista metrológico, premiando realmente os gasômetros de melhor qualidade.

Por fim, fica a critério do executor do ensaio do gasômetro seco estabelecer suas tolerâncias para o valor médio Y, já que nem a ABNT nem a US EPA as estabelece.

7.0 Bibliografia

- 1) ABNT. "Efluentes Gasosos em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Calibração dos Equipamentos Utilizados em Amostragem", NBR 12020, Abril 1992.
- 4) US EPA. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume III, Stationary Source Specific Methods, EPA-600/A-77-027b, Triangle Park, NC, Agosto 1977.
- 3) ABNT. "Medidor de Gás Tipo Diafragma, para Instalações Residenciais". NBR 13127, Abr 1994.
- 4) Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (ISO GUM Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement). Segunda Edição Brasileira do GUM (Agosto 1998).
- 5) Wight, Gregory D., Fundamentals of Air Sampling, Lewis Publishers, New York, 1994