



AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO EM ENSAIOS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Vicente de Paula Vieira¹

¹ Primar Engenharia e Metrologia Ambiental Ltda., Contagem-MG, Brasil, vicente.vieira@primarengenharia.com

Resumo: Os ensaios ambientais para a caracterização de emissões atmosféricas normalmente são complexos por envolverem uma série de grandezas como composição química dos gases, temperatura, pressão, volume da amostra, dimensões do duto etc. As incertezas desses ensaios envolvem componentes que devem ser bem estimadas para garantirem a qualidade dos resultados obtidos. A estimativa das incertezas utilizando planilhas de Excel e a metodologia do Guia para expressão da incerteza de medição demonstrou-se eficiente para a estimativa de incerteza requerida pelos ensaios envolvendo emissões atmosféricas. A aplicação da metodologia forneceu as contribuições das inúmeras estimativas de entrada para as incertezas dos mensurandos obtidos nos ensaios estudados.

Palavras chave: Incerteza de medição, Ensaios ambientais, Emissões atmosféricas, Contribuição para incerteza.

1. INTRODUÇÃO

A evolução da qualidade dos resultados de ensaios ambientais é um dos legados da adoção da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 em laboratórios de calibração e ensaios no Brasil. O aumento das exigências de órgãos ambientais do país tem conduzido laboratórios a implantarem Sistemas de Gestão como uma das etapas do reconhecimento de suas competências.

Os resultados obtidos pelos laboratórios normalmente são utilizados como critério para definir se a fonte de emissão está ou não cumprindo as regulamentações das leis ambientais. Essa característica dos resultados evidencia a necessidade de se conhecer qual a qualidade dos mesmos, ou seja, que incertezas são estimadas para os resultados dos ensaios.

Além da qualidade metrológica, a estimativa das incertezas de medição é fundamental para garantir a rastreabilidade dos resultados de ensaios.

De acordo com Vieira (2009):

Os resultados da avaliação de emissões de poluentes atmosféricos são influenciados por diversas variáveis como temperatura, pressão, massa, umidade, volume etc. Para obter resultados rastreáveis e com garantia da qualidade, a medição das variáveis influentes deve ser realizada conhecendo-se erros e incertezas. Enquanto que os erros devem ser corrigidos, as incertezas devem ser consideradas na

estimativa da incerteza de medição do ensaio ambiental em questão.

A determinação da emissão de material particulado em chaminés é o ensaio de emissões mais comumente executado no Brasil. De acordo com a ABNT (1990), material particulado é qualquer partícula sólida ou líquida que permaneça em um desses estados quando submetido a uma temperatura de na faixa de 110 a 130 °C. A própria definição da ABNT já traz uma incerteza relativa à influência da temperatura uma vez que o material pode ou não ser coletado dependendo de sua temperatura de ebulição.

O ensaio para determinar emissões de material particulado envolve uma sequência de medições e equacionamento que torna o processo complexo e sujeito a influências diversas. A capacidade dos instrumentos de medição utilizados é primordial para os valores estimados das incertezas.

Em um ensaio para determinar as emissões de material particulado são medidas 14(quatorze) grandezas, sendo que algumas são medidas várias vezes, 04(quatro) são obtidas por meio de ensaios metrológicos dos instrumentos e 28(vinte e oito) grandezas são calculadas. Os cálculos realizados podem ser simplesmente a determinação de médias ou a diferença entre medida inicial e final ou envolver equações conforme será posteriormente descrito.

Para esse tipo de ensaio o Guia para expressão da incerteza de medição (INMETRO *et al.*, 1998) apresenta a metodologia para a estimativa de incerteza de medição. Nesses casos, a metodologia prevê a utilização de derivadas parciais da função que expressa o resultado do ensaio em relação a todas as variáveis que influenciam o resultado.

A aplicação de uma metodologia simples e robusta pode garantir aos laboratórios de ensaios uma versatilidade e o aumento da qualidade dos resultados obtidos em seus serviços.

3. OBJETIVOS

Desenvolver uma metodologia com base no Guia para expressão da incerteza de medição para estudar as incertezas dos resultados de ensaios de emissões atmosféricas. Avaliar a contribuição proporcional das estimativas de entrada para

os mensurandos envolvidos nos ensaios de emissões atmosféricas.

2. METODOLOGIA

A emissão de poluentes particulados é influenciada por uma série de variáveis que se relacionam de forma muito complexa. Essa complexidade dificulta a adoção de medidas preventivas e de controle nos processos industriais. Para serem eficazes, as medidas devem considerar, pelo menos, as características principais da geração e emissão de poluentes tais como: propriedades físico-químicas do poluente, temperatura do processo de geração e do fluxo de gases, sistema de captação e exaustão dos poluentes etc.

Metodologia utilizada neste estudo iniciou-se basicamente com o equacionamento normalmente envolvido nos ensaios em estudo conforme será descrito ao longo desta seção.

Para a realização de um ensaio de emissões, é necessário preparar os furos de amostragem, determinar a localização dos pontos na seção interna e testar as condições do fluxo (ABNT, 1989a), envolvendo uma série de medição e cálculos adicionais. Em fluxos ciclônicos, são necessários procedimentos especiais para a realização de ensaios, o que não foi abordado neste estudo. De acordo com ABNT (1990), os cálculos para obter resultados de ensaios de material particulado em emissões atmosféricas podem ser feitos de acordo com as equações de (1) a (13).

A pressão absoluta na fonte pode ser obtida por meio da seguinte equação:

$$P = Patm + Pe \quad (1)$$

Na qual P , $Patm$ e Pe são a pressão absoluta na fonte, pressão atmosférica local e pressão estática no interior da fonte respectivamente.

No interior do medidor de volume de gases coletados da fonte também é possível calcular a pressão absoluta.

$$Pg = Patm + \frac{\Delta H}{13,6} \quad (2)$$

Na equação (2), Pg e ΔH são respectivamente a pressão absoluta no medidor e pressão diferencial na placa de orifício utilizada para medição e controle de vazão de amostragem. Já o 13,6 é o fator de conversão da unidade de pressão de mmH₂O para mmHg. Ambas as unidades são comumente utilizadas em ensaios de emissões atmosféricas.

O volume de água coletada nas condições de pressão e temperatura do interior da fonte pode ser escrito como:

$$Vag = \frac{0,00346.T.Mag}{P} \quad (3)$$

A equação (3) relaciona o volume de água coletado (Vag) com a temperatura absoluta no interior da fonte (T), com a massa de água coletada durante a amostragem (Mag) e com a pressão absoluta no interior da fonte (P). O fator 0,00346 é utilizado para converter o resultado para m³.

O volume de gases coletado nas condições de pressão e temperatura do interior da fonte pode ser calculado por meio da seguinte expressão:

$$V = \frac{Y.Vg.T.Pg}{P.Tg} \quad (4)$$

Na qual V é o volume dos gases nas condições especificadas; Y é o fator de correção do medidor de volume (gasômetro) obtido em ensaio preconizado pela norma ABNT NBR 12020:1992; Vg é o volume registrado no medidor de volume, calculado por meio das leituras inicial e final no medidor; T é a temperatura no interior da fonte; Pg é a pressão absoluta no interior do medidor de volume; P é a pressão absoluta no interior da fonte; Tg é a temperatura absoluta no interior do medidor de volume.

A umidade dos gases (Bag) em termos da proporção do volume de água no fluxo gasoso da fonte pode ser escrita conforme a equação (5).

$$Bag = \frac{Vag}{Vag + V} \quad (5)$$

De acordo com ABNT (1989b), a massa molar dos gases na base seca (MMs) pode ser calculada de acordo com os principais componentes moleculares do fluxo gasoso.

$$MMs = 0,44.(%CO_2) + 0,32.(%O_2) + 0,28.[(%N_2) + (%CO)] \quad (6)$$

Na equação (6) as respectivas concentrações volumétricas percentuais dos gases são multiplicadas pelas massas molares fracionárias.

Ao considerar a umidade contida nos gases (Bag), é possível obter a massa molar dos gases na base úmida (MMu).

$$MMu = MMs.(1 - Bag) + 18.Bag \quad (7)$$

A velocidade (v) dos gases no interior da fonte pode ser calculada de acordo com a seguinte equação:

$$v = 34,97.Cp.\sqrt{\frac{T.\Delta Pm}{MMu.P}} \quad (8)$$

Na qual Cp é o fator de correção do tubo de Pitot, obtido por meio de ensaio do instrumento segundo a norma ABNT NBR 12020:1992; ΔPm é a pressão de velocidade média medida no tubo de Pitot.

A partir da velocidade dos gases e da área (A) da seção da fonte é possível calcular a vazão (Q) dos gases:

$$Q = v.A \quad (9)$$

A vazão dos gases na base seca e nas condições normais de temperatura e pressão (1 atm e 0 °C) ($Qnbs$) pode ser calculada de acordo com a equação (10).

$$Qnbs = \frac{0,3592.Q.P.(1 - Bag)}{T} \quad (10)$$

O volume de gases coletados nas condições normais de temperatura e pressão (1 atm e 0 °C) (V_{gn}) também pode ser calculado pela equação a seguir:

$$V_{gn} = \frac{0,3592.Vg.Pg.Y}{Tg} \quad (11)$$

A concentração de material particulado é calculada de acordo com a equação:

$$C = \frac{Mmp}{V_{gn}} \quad (12)$$

Na qual C é a concentração de material particulado e Mmp é a massa de material particulado coletada da fonte.

Utilizando a equação (13) calcula-se a taxa de emissão de poluente (Te)

$$Te = 10^6.C.Qnbs \quad (13)$$

Além dessa série de equações existem as equações para verificação das condições isocinéticas de amostragem que são utilizadas para a validação da amostragem realizada em cada ensaio. Essa equações não foram consideradas neste estudo.

De acordo com Inmetro *et al.* (1998), uma estimativa do mensurando Y , designada por y , é obtida utilizando estimativas de entrada x_1, x_2, \dots, x_N para os valores das N grandezas X_1, X_2, \dots, X_N . Assim, a estimativa de saída y , que é o resultado da medição, é dada por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (14)$$

As equações de (1) a (13) são formas específicas da equação (14) em que os mensurandos possuem suas estimativas obtidas por meio de estimativas de entradas.

Ainda de acordo com Inmetro *et al.* (1998), a incerteza padrão combinada associada a y [$u_c(y)$] pode ser calculada a partir das incertezas padrões das estimativas x_1, x_2, \dots, x_N e dos respectivos coeficientes de sensibilidade. Desse modo:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)} \quad (15)$$

Na equação (15) $\partial f/\partial x_i$ é o coeficiente de sensibilidade de f em relação a x_i e $u(x_i)$ é a incerteza padrão da estimativa de x_i .

O intervalo estatístico no qual encontra-se a estimativa y com probabilidade conhecida pode ser obtido por meio do cálculo da incerteza expandida.

$$U = k.u_c(y) \quad (16)$$

Na equação (16), U é a incerteza expandida, k e o fator de abrangência e $u_c(y)$ é a incerteza padrão combinada.

Dessa forma, o resultado da medição de Y é convenientemente expresso como:

$$Y = y \pm U \quad (17)$$

No desenvolvimento deste estudo, para todas as equações inerentes ao ensaio de material particulado, foram obtidas derivadas parciais da grandeza calculada em relação a todas as grandezas medidas ou também calculada.

As componentes consideradas no cálculo das incertezas padrões de cada grandeza foram: do tipo A, representada pelo desvio padrão do conjunto de medidas; e do tipo B representadas por incerteza padrão, resolução do sistema de medição, estabilidade do sistema de medição, especificação técnica do sistema de medição, homogeneidade e estabilidade do sistema medido.

O fator de distribuição k foi considerado como da distribuição normal para um nível de confiança de 95,45 %, ou seja, 2.

O modelo contendo o cálculo dos coeficientes de sensibilidade por meio de derivadas parciais e as estimativas das componentes das incertezas padrões foi inserido em um modelo de planilha do aplicativo Excel para processar dados de fontes de emissões diversas. Na mesma planilha foi inserido o cálculo da contribuição percentual da incerteza de cada estimativa de entrada para a estimativa do mensurando envolvido.

Os valores das medições variaram de baixas a altas emissões. Como existia a possibilidade da capacidade de resposta da metodologia variar, estudaram-se pelo menos 03(três) tipos de fontes representativas em termos de emissão de material particulado. As fontes emissoras avaliadas fazem parte de um grupo variado de processos industriais, compreendendo o desempoeiramento de áreas internas, caldeiras para produção de energia térmica e fornos de produção de clínquer.

Para cada tipo de fonte foram estimadas as incertezas de 15(quinze) ensaios de 05(cinco) fontes diferentes, compreendendo 03(três) ensaios em cada fonte. Considerando essas características e os tipos de fontes selecionadas, o estudo englobou um conjunto de 45(quarenta e cinco) ensaios.

A contribuição percentual da incerteza de cada estimativa de entrada para a estimativa dos mensurandos envolvidos foi estimada como a média dos ensaios para cada tipo de fonte avaliado.

Os resultados dos ensaios de emissões foram expressos em termos da concentração de material particulado uma vez que é essa a grandeza normalmente regulamentada nas legislações ambientais federal e estaduais.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados de concentração com as respectivas incertezas podem ser observadas na Tabela 1. As fontes foram codificadas de acordo com os tipos T1, T2 e T3 e a sequência da fonte no conjunto F1, F2, F3, F4 e F5. Os valores de incertezas foram mantidos com 2(dois) algarismos significativos conforme discutido por Inmetro *et al.* (1998).

As fontes do tipo desempoeiramento de áreas internas possuíam sistema de controle do tipo filtro de feltro ou não possuíam sistema de controle. As caldeiras selecionadas para avaliação operaram com combustíveis derivados de madeira e possuíam sistema de controle de emissão do tipo multiciclone ou lavador de gases. Os fornos de clínquer possuíam sistema de controle do tipo precipitador eletrostático. Os resultados de concentração refletem as características das fontes e do respectivo controle adotado na fonte avaliada. A variabilidade de fontes e de níveis de emissão, bem como o número de ensaios possibilitou avaliar a robustez do método enquanto estimador de incertezas de medições.

Para emissões em níveis mais baixos, as estimativas de incerteza se mostraram proporcionalmente maiores. Esse tipo de ocorrência é natural uma vez que em emissões baixas os resultados e leituras tendem aos limites de quantificação dos métodos e equipamentos. Em termos ambientais, valores baixos de emissões é positivo e em muitos casos são conseguidos pela estabilidade do processo e também pela aplicação de sistemas de controle da poluição.

Os valores das incertezas se mostraram coerentes com a variabilidade do processo industrial de modo que as maiores incertezas foram observadas nas fontes com maiores variabilidade de grandezas como pressão de velocidade e temperatura.

Tabela 1. Resultados de concentração e respectivas incertezas de fontes avaliadas

Fonte	Concentração ± incerteza (mg/Nm ³)		
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
T1F1	46,3 ± 4,2	58,9 ± 5,2	42,3 ± 4,0
T1F2	88,5 ± 8,3	115,3 ± 10,4	193,5 ± 16,3
T1F3	23,7 ± 3,1	18,6 ± 3,3	33,8 ± 4,0
T1F4	67,8 ± 6,2	100,2 ± 10,4	108,3 ± 10,2
T1F5	21,0 ± 3,4	34,8 ± 4,1	36,1 ± 4,0
T2F1	243 ± 14	278 ± 14	265 ± 14
T2F2	457 ± 16	532 ± 19	356 ± 15
T2F3	139 ± 11	158 ± 12	217 ± 14
T2F4	178 ± 13	238 ± 13	423 ± 19
T2F5	383 ± 16	459 ± 18	449 ± 16
T3F1	123 ± 10	109 ± 10	91,2 ± 8,8
T3F2	32,7 ± 4,0	46,0 ± 4,1	28,4 ± 4,3
T3F3	65,1 ± 5,3	76,2 ± 7,2	89,7 ± 8,0
T3F4	41,2 ± 4,5	56,7 ± 5,3	35,0 ± 4,7
T3F5	14,7 ± 3,4	10,6 ± 3,2	26,1 ± 3,7

Na Tabela 2 pode-se observar as contribuições médias das incertezas das estimativas de entrada para cada mensurando estimado em cada tipo de fonte. As fontes do tipo 1 (T1) são sistemas de desempoeiramento de áreas internas, as fontes do tipo 2 (T2) são caldeiras para produção de energia térmica (vapor d'água), enquanto que as fontes de

tipo 3 (T3) são fornos de produção clínquer para produção de cimento.

As contribuições percentuais apresentaram variações coerentes com os valores das estimativas de entrada. Pontualmente, é possível discutir os resultados conforme será feito a seguir.

A contribuição da incerteza da pressão diferencial na placa de orifício (ΔH) para a incerteza da pressão absoluta no medidor (P_g) e se diferenciam em função dos valores elevados da pressão diferencial aplicada durante as amostragens.

A incerteza do volume coleta nas condições da fonte (V) é significativamente influenciada pelo fator de correção do medidor de volume (Y) e pela temperatura no interior da fonte (T). O aumento significativo na temperatura observado nas caldeiras altera de forma considerável a contribuição da incerteza dessa estimativa de entrada.

A variação de temperatura no interior da fonte (T) também confere uma variação significativa na contribuição da incerteza do volume dos gases nas condições da fonte (V) sobre as incertezas da umidade dos gases (Bag) conforme pode ser observado na Tabela 2.

As contribuições de incerteza das estimativas de entrada da massa molar na base seca (MMS) são proporcionais, principalmente, às respectivas concentrações. Na equação (6), podem-se notar os coeficientes dos gases, o que explica a maior contribuição da concentração de dióxido de carbono ($\%CO_2$) cujo coeficiente, 0,44, é o maior da equação.

As contribuições para a incerteza da velocidade dos gases (v) revelam que a contribuição das incertezas da pressão de velocidade média (ΔP_m) é maior quanto menor for a estimativa de entrada dessa grandeza. Além disso, também é possível notar a contribuição significativa do fator de correção do tubo Pitot (C_p).

Nas contribuições para a incerteza da vazão dos gases (Q), é possível notar a alteração devido ao aumento acentuado do diâmetro das chaminés de fornos de clínquer. Esse aumento se reflete na incerteza da área (A).

Continuando na Tabela 2, nas contribuições para a incerteza da vazão dos gases na base seca e nas condições normais de temperatura e pressão (1 atm e 0 °C) (Q_{nbs}) há um predomínio notório das incertezas da vazão dos gases nas condições da fonte (Q).

As incertezas do fator de correção do medidor de volume (Y) predominam nas contribuições para as incertezas do volume coletado nas CNTP (V_{gn}).

As incertezas da concentração de material particulado (C_{mp}) são fortemente influenciadas pelas incertezas da massa de material particulado (M_{mp}). As componentes da incerteza da massa de material particulado são de grande importância para a qualidade dos resultados dos ensaios em questão. As componentes convencionais dessa grandeza são: calibração, resolução, especificação técnica, linearidade, deriva no tempo, excentricidade da balança, condições ambientais do local de pesagem. Além dessas, existem

outras componentes que podem ser ainda mais importantes, sendo elas: recuperação da massa coletada fora do filtro no equipamento de amostragem, limpeza das partes do equipamento que entram em contato com a amostra e manuseio e tratamento das amostras antes da análise gravimétrica.

As incertezas da taxa de emissão (T_e) possuem contribuições influenciadas diretamente pela vazão dos gases nas CNTP. A contribuição da vazão foi maior quando essa estimativa de entrada foi menor como no caso das caldeiras.

Tabela 2. Relação Percentual das Incertezas em Ensaio de Emissões em Caldeiras, Fornos de Clínquer,

Grandeza	Equação	Variável	Contribuição (%)		
			Fonte ¹		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Pressão absoluta na fonte	$P = Patm + Pe$	$Patm$	99,45	99,42	99,36
		Pe	0,55	0,58	0,64
Pressão absoluta no gasômetro	$Pg = Patm + \frac{\Delta H}{13,6}$	$Patm$	98,74	92,14	98,43
		ΔH	1,26	7,86	1,57
Volume de água nas condições da fonte	$Vag = \frac{0,00346.T.Mag}{P}$	T	97,28	95,09	94,83
		Mag	1,76	0,13	3,98
		P	0,96	4,78	1,18
Volume de gases coletado nas condições da fonte	$V = \frac{Y.Vg.T.Pg}{P.Tg}$	Y	63,21	11,96	64,75
		Vg	17,00	3,12	17,17
		T	6,42	82,79	3,53
		Pg	1,71	0,33	1,68
		P	1,72	0,31	1,67
		Tg	9,95	1,49	11,20
Umidade dos gases	$Bag = \frac{Vag}{Vag + V}$	Vag	45,41	72,30	38,35
		V	54,59	27,70	61,35
Massa molar dos gases na base seca	$MMs = 0,44.(%CO_2) + 0,32.(%O_2) + 0,28.[(%N_2) + (%CO)]$	$%CO_2$	0,00	50,391	48,211
		$%O_2$	16,90	10,702	6,795
		$%CO$	0,00	0,00	0,001
		$%N_2$	83,10	38,906	44,994
Massa molar dos gases na base úmida	$MMu = MMs.(1 - Bag) + 18.Bag$	MMs	99,25	95,70	99,51
		Bag	0,75	4,3	0,49
Velocidade dos gases	$v = 34,97.Cp.\sqrt{\frac{T.\Delta Pm}{MMu.P}}$	Cp	83,719	32,132	68,848
		ΔPm	15,641	66,469	29,982
		T	0,034	0,907	0,016
		MMu	0,410	0,464	1,154
		P	1,190	0,00	0,00
Vazão	$Q = v.A$	V	80,61	78,72	97,99
		A	19,39	21,28	2,01
Vazão dos gases na base seca e nas CNTP	$Qnbs = \frac{0,3592.Q.P.(1 - Bag)}{T}$	Q	99,76	96,81	99,77
		P	0,03	0,01	0,03
		Bag	0,00	0,41	0,14
		T	0,11	2,77	0,06
Volume dos gases nas CNTP	$Vgn = \frac{0,3592.Vg.Pg.Y}{Tg}$	Vg	18,51	18,45	18,11
		Pg	1,86	1,95	1,77
		Y	68,80	70,79	68,30
		Tg	10,83	8,81	11,82

¹ Tipo 1: Sistemas de desempenho de áreas internas; Tipo 2: Caldeiras para produção de vapor d'água; Tipo 3: Forno de produção de clínquer.

Tabela 2. Relação Percentual das Incertezas em Ensaios de Emissões em Caldeiras, Fornos de Clínquer (continuação)

Grandeza	Equação	Variável	Contribuição (%)		
			Fonte ¹		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Concentração de material particulado	$C = \frac{Mmp}{Vgn}$	<i>Mmp</i>	97,70	97,60	97,61
		<i>Vgn</i>	2,30	2,40	2,39
Taxa de emissão de material particulado	$Te = 10^6 \cdot C \cdot Qnbs$	<i>C</i>	40,25	19,02	40,61
		<i>Qnbs</i>	59,75	80,98	59,39

¹ Tipo 1: Sistemas de desempoeiramento de áreas internas; Tipo 2: Caldeiras para produção de vapor d'água; Tipo 3: Forno de produção de clínquer.

3. CONCLUSÃO

A metodologia empregada para a estimativa das incertezas se mostrou eficaz no atendimento das necessidades inerentes aos ensaios de emissões atmosféricas. A metodologia facilita a estimativa de forma independente para cada ensaio, refletindo todas as variações possíveis dos mensurandos relativas às amostragens, às análises e ao processo industrial.

De acordo com ABNT (2005), os laboratórios de ensaio que possuem um sistema de gestão reconhecido devem apresentar os resultados de ensaios acompanhados de uma declaração de suas incertezas. Os resultados apresentados na Tabela 1 corroboram a necessidade de os laboratórios terem meios para estimarem as incertezas a cada ensaio, pois as contribuições das estimativas de entrada podem variar significativamente. A aplicação da metodologia utilizada neste estudo possibilita estimar as incertezas individualmente para cada ensaio realizado, sendo bastante útil para laboratórios que realizam ensaios de emissões atmosféricas.

Embora tenha sido estudado o ensaio de material particulado em emissões atmosféricas, a metodologia pode ser facilmente aplicada a ensaios de outros poluentes que exijam amostragem isocinética. As alterações necessárias para aplicar a metodologia a outros poluentes são focadas principalmente na determinação da massa do poluente coletada e suas respectivas componentes de incerteza.

Os resultados demonstraram que a contribuição proporcional das estimativas de entrada dos vários mensurando pode se alterar significativamente de acordo com variações do processo industrial gerador das emissões. Existem várias grandezas que predominam na contribuição para incertezas, entretanto, esse predomínio pode ser alterado pelas diversas combinações entre grandezas que podem ocorrer durante a realização dos ensaios.

A redução das incertezas de medição na faixa mais baixa torna-se possível com a melhoria dos sistemas de medição e do controle operacional dos processos geradores. Em muitos casos a melhoria dos sistemas de medição é limitada pela tecnologia. Já o controle operacional dos processos geradores depende não só de tecnologias, mas também da possibilidade de estabilizar o processo. Nem sempre a estabilidade do processo é possível devido às características de produção.

A metodologia empregada é robusta o suficiente para responder às variações do processo de emissão uma vez que os resultados de concentração e suas incertezas refletiram bem a variabilidade dos processos de geração de material particulado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à diretoria da empresa Primar Engenharia e Metrologia Ambiental pela oportunidade e pelo fornecimento de dados indispensáveis à realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] VIEIRA, V. de P. Avaliação da incerteza de medição de volume e sua influência sobre resultados de avaliação de emissões atmosféricas. In: V Congresso Brasileiro de Metrologia – Metrologia para competitividade em áreas estratégicas. Salvador: ABM, 2009.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12019. Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado. Rio de Janeiro, 1990.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA – SBM. Guia para expressão da incerteza de medição. 2.ed. Rio de Janeiro: INMETRO, ABNT e SBM, 1998.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10701. Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989a.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10702. Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da massa molar na base seca. Rio de Janeiro, 1989b.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO/IEC 17025. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2005.