

## 4

### Resultados e Análises

Neste capítulo serão apresentados os resultados com suas respectivas análises, referentes ao desenvolvimento da metodologia para o cálculo das incertezas de medição para geração de energia elétrica através de microturbinas a gás.

Tendo como principal referência um trabalho desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA-ORD), no qual, as equações para verificação dos parâmetros de desempenho de microturbinas a gás estão descritos no capítulo 2. A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida objetivando uma contribuição para o cálculo das incertezas de medição, baseando-se no Guia para a Expressão da Incerteza de Medição que foi adotado pelo INMETRO desde 1996.

#### 4.1

#### Valores Desejáveis para Incerteza de Medição

Segundo a EPA-ORD [SRI/USEPA-GHG-QAP-27, Nov 2002], os valores aceitáveis para a incerteza de medição estariam descritos na tabela abaixo:

Tabela 16: Metas pré-definidas para projeto pela EPA-ORD e valores encontrados

Medição de Variáveis		Incerteza	
		Esperada	Experimental
Microturbina	Potência	1,50 %	0,1 %
	Tensão	1,01 %	0,1 %
	Freqüência	0,01 %	0,016 %
	Corrente	1,01 %	0,1 %
Gás Natural	Vazão Volumétrica	1,00 %	1,1 %

Tabela 16: Metas pré-definidas para projeto e valores encontrados (continuação)

Medição de Variáveis		Incerteza	
		Esperada	Experimental
Gás Natural	Pressão	0,075 % FS	1,4 % FS
	Temperatura	0,1 %	0,1 %
	PCI	0,2 %	2,2
Condições Ambientais	Temperatura	0,1 °C	0,1 %
	Pressão	0,1 % FS	–
	Umidade Relativa	3 %	–
Medidas Indiretas	Entrada de Calor	1,02 %	–
	Eficiência Elétrica	1,81 %	2,5 %
	Calor Recuperado	2,5 %	–
	Eficiência Térmica	2,24 %	–

## 4.2

### Procedimento para o Cálculo da Incerteza de Medição

O procedimento de cálculo da incerteza associada ao processo de geração de energia elétrica, através de microturbinas a gás, aplica-se também a uma medição secundária de algumas variáveis, a medições na própria microturbina.

O procedimento descreve a fundamentação dos cálculos da incerteza para aplicação em toda a faixa de medição do instrumento, uma vez que a incerteza pontual seria de pouca utilidade. A técnica descrita é aplicável a qualquer elemento medidor, seja um transmissor de saída 4 a 20 mA ou outro sensor qualquer.

Sabemos que se tratando de medição, podemos tê-la de uma forma direta ou indireta dependendo da variável a ser medida ou do tipo de instrumento utilizado no processo.

### 4.2.1

#### Medição da Produção de Energia Elétrica

Conforme mostrado na tabela 16, o valor esperado da incerteza para a produção de energia elétrica é  $\pm 1,5 \%$  do valor de leitura, porém, outra referência da EPA-ORD [SRI/USEPA-GHG-GD-03, March 2002] sugere  $\pm 0,2 \%$ . Através do desenvolvimento desse trabalho, vimos que a incerteza para esta variável depende basicamente da repetitividade e da incerteza do medidor, visto que teremos uma medição direta, conforme mostrado na equação 18.

Como a incerteza do medidor está em torno de  $0,1 \%$  segundo manual do fabricante, teremos apenas que verificar a repetitividade deste.

Com o desenvolvimento da metodologia do cálculo da incerteza para produção de energia elétrica, concluímos que o medidor é adequado para efetuarmos a medição. O valor de  $\pm 1,5 \%$  mencionado na tabela 16, leva em consideração todos os valores medidos ao longo do tempo, ou melhor, a instabilidade do processo de medição, enquanto que o fabricante considera um único ponto.

### 4.2.2

#### Medição da Tensão e Corrente Elétrica

Conforme mostrados na tabela 16, o valor esperado da incerteza para a tensão e a corrente elétrica é  $\pm 1,0 \%$  do valor de leitura, porém, outra referência da EPA-ORD [SRI/USEPA-GHG-GD-03, March 2002] sugere  $\pm 0,1 \%$ . Através do desenvolvimento desse trabalho, vimos que a incerteza para estes parâmetros depende basicamente da repetitividade e da incerteza do medidor, visto que teremos uma medição direta, conforme mostrado nas equações 66 e 71.

Como a incerteza do medidor está em torno de  $\pm 0,1 \%$  segundo manual do fabricante, teremos apenas que verificar a sua repetitividade.

Com o desenvolvimento da metodologia do cálculo da incerteza para tensão e a corrente elétrica, concluímos que o medidor é adequado para efetuarmos a medição. O valor de  $\pm 1,0 \%$  mencionado na tabela 16, também leva em consideração os valores máximo e mínimo das variáveis.

### 4.2.3

#### Medição da Frequência Elétrica

Conforme mostrado na tabela 16, o valor esperado da incerteza para a frequência elétrica é  $\pm 0,01$  % do valor de leitura. Através do desenvolvimento desse trabalho, vimos que a incerteza para este parâmetro depende basicamente da repetitividade e da incerteza do medidor, visto que teremos uma medição direta, conforme mostrado na equação 61.

Como a incerteza do medidor está em torno de  $\pm 1$  Hz ou  $\pm 0,016$  % segundo o manual do fabricante, teremos que verificar sua repetitividade.

### 4.2.4

#### Cálculo da Energia Média de Entrada

Conforme mostrado na tabela 16, o valor esperado da incerteza para a energia média de entrada (Q) é  $\pm 1,0$ . Através do desenvolvimento desse trabalho, vimos que a energia de entrada foi calculada em função da medição de vazão do gás natural (V) e do seu poder calorífico inferior (PCI). Para o cálculo da incerteza da quantidade de energia de entrada necessitamos das incertezas destas variáveis, conforme a equação 24.

Com o desenvolvimento da metodologia do cálculo da incerteza da energia média de entrada do gás natural foi encontrada uma incerteza de  $\pm 2,4$  %, este valor é bem maior que o esperado, conforme mostra na tabela 16. Provavelmente, se quisermos reduzir a incerteza da energia média de entrada, devemos melhorar a incerteza do PCI.

### 4.2.5

#### Cálculo da Eficiência Elétrica

Conforme mostrado na tabela 16, o valor esperado da incerteza para a eficiência elétrica é  $\pm 1,8$  %. Através do desenvolvimento desse trabalho, vimos que a eficiência elétrica foi calculada em função da medição da produção de energia elétrica (P) e do calor específico do gás natural (Q). Para o cálculo da

incerteza da eficiência elétrica necessitamos das incertezas destas variáveis, conforme a equação 37.

Com o desenvolvimento da metodologia do cálculo da incerteza da eficiência elétrica foi encontrada uma incerteza de  $\pm 2,5 \%$ , valor este bem maior que o desejável, conforme mostra na tabela 16. Provavelmente, se quisermos reduzir a incerteza da energia média de entrada, devemos melhorar a incerteza do PCI.

#### 4.2.6

##### **Cálculo do Poder Calorífico Inferior**

Conforme mostrado na tabela 16, o valor esperado da incerteza para o poder calorífico inferior é  $\pm 0,2 \%$ . No desenvolvimento desse trabalho, vimos que o PCI da mistura foi calculado através da incerteza da composição ( $x_i$ ) e do PCI de cada componente ( $PCI_i$ ) do gás natural, fornecidos pela CEG. Para o cálculo da incerteza do poder calorífico inferior (PCI) necessitamos das incertezas destas variáveis, conforme a equação 81.

Com o desenvolvimento da metodologia do cálculo da incerteza do PCI do gás natural foi encontrada uma incerteza de  $\pm 2,2 \%$ , valor este bem maior que o desejável, conforme mostra na tabela 16. Provavelmente, se quisermos reduzir a incerteza, uma medida direta do PCI deve ser feita com o auxílio de um calorímetro. Isso reduziria o seu valor para aproximadamente  $\pm 0,5 \%$ .