

## **Incerteza de medição da economia em projetos de eficiência energética: comparação entre GUM e PIMVP**

**Rodrigo S. Vieira<sup>1</sup>, Rodrigo F. Calili<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 255, Gávea, 22451-900, Rio de Janeiro – RJ, Brasil;

E-mail: rsantosvieira@hotmail.com

**Resumo:** Empresas de conservação de energia (ESCO) executam projetos de eficiência energética em seus clientes com vistas a reduzir o consumo de energia. Todavia, para comprovar que estas economias de energia foram alcançadas pós implantação das ações de eficiência energética (AEE), os processos de medição e verificação (M&V) são necessários. Este artigo apresenta algumas comparações entre o principal método usado no mercado que indica a incerteza de medição na comprovação da economia obtida, representado pelo protocolo de medição e verificação de performance (PIMVP), e o guia de expressão da incerteza de medição (GUM), método tradicional e mais difundido na literatura metrológica.

**Palavras-chave:** Ação de eficiência energética, PIMVP, GUM, M&V.

**Abstract:** Energy saving companies (ESCOs) perform energy efficiency projects in their customers in order to save energy consumption. However, after the implementation of energy efficiency measures (EEM), to prove that the energy savings were achieved, measurement and verification (M&V) processes are needed. This article presents some comparisons between the main method used in the energy efficiency market to indicate the uncertainty in measurement and to proof energy saving obtained, represented by the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP), and the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), traditional method and more widespread in the metrology literature.

**Keywords:** energy efficiency measures, IPMVP, GUM, M&V.

### **1. INTRODUÇÃO**

A eficiência energética, tem como sua essência gerenciar, reduzir e tornar mais eficiente o consumo de energia pelos consumidores. Segundo a ISO 50001, eficiência energética é a relação quantitativa entre uma saída de desempenho, serviços, produtos ou energia e uma entrada de insumo energético[1]. Neste artigo o

termo ação de eficiência energética (AEE) retratará a melhoria da relação consumo energético sem o comprometimento da saída de desempenho. Na prática, AEEs são especificações de trocas de equipamentos e mudanças de comportamentos que retornam economias de energia e monetária a quem as aplica.

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance de 2012 (PIMVP) [2] estabelece que empresas de conservação de energia (ESCO) são aquelas que fornecem serviços de concepção e execução de ações de eficiência energética (AEEs) em clientes e utilizam um contrato de performance energética para obter sua remuneração via percentual da economia obtida nestes. Portanto, para que a ESCO seja remunerada, há a necessidade de comprovar que as economias projetadas para as AEEs foram alcançadas após a implantação. E para isso é utilizado o método de “Medição e Verificação” (M&V) [2].

Segundo a ISO 50015, M&V é o processo de planejamento, medição, coleta de dados, análise, verificação e relato de desempenho energético ou melhoria do desempenho energético para fronteiras de medição e verificação definidas [3]. Para se realizar a M&V, as ESCOs geralmente guiam-se no PIMVP e nas normas da família ISO 50001. Todavia, esses documentos apresentam soluções muito abrangentes [4], deixando alguns pontos pouco esclarecidos, como nos cálculos da incerteza de medição da economia obtida. O PIMVP é um protocolo baseado em experiências e normas dos Estados Unidos da América, não tendo diretamente como referência o principal documento utilizado na literatura mundial sobre incerteza de medição, o Guia de para expressão da Incerteza de Medição (GUM) [6] escrito pelo BIPM, órgão que detém a guarda dos padrões das unidades de medidas e que estabelece suas simbologias e vocabulários.

Então, este trabalho tem como objetivo verificar algumas das diferenças entre os métodos de estimação da incerteza de medição constantes no PIMVP e no GUM utilizados no processo de M&V para comprovação da economia energia e monetária oriundas das AEEs. No final, como resultado, algumas recomendações serão feitas para melhoria desse processo.

## 2. SOBRE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

Para a comprovação da redução do consumo de energia oriunda das AEEs são realizadas duas etapas de medições, uma antes e outra depois da implantação destas AEEs.

A primeira medição é utilizada para criar o cenário anterior às ações de eficiência energética e para realizar a modelagem, por método matemático/estatístico, da projeção que irá estabelecer a linha de base das AEEs. Uma expressão matemática é formada cruzando-se diversas medições de parâmetros energéticos (variável dependente) com variáveis registradas no mesmo período de fenômenos ou acontecimentos que influenciam estes parâmetros energéticos (variáveis independentes). Por exemplo: explicar a variação do consumo de energia elétrica pela variação da temperatura para AEEs que envolvam condicionadores de ar.

A segunda medição é realizada após as ações de eficiência energética. Assim, a linha de base (formulação matemática) é extrapolada para o período esperado de economia, tendo como função representar o funcionamento do sistema como se nenhuma AEE tivesse sido executada. Isso é feito atualizando-se os valores das variáveis independentes. A diferença entre o valor da linha de base e o valor da segunda medição no mesmo período temporal representa a economia de energia obtida para aquele ponto analisado. De tal modo que (1) representa a medição de economia de insumos energéticos. Já a linha de base está mostrada em (2)

$$Economia = (Linha\ de\ Base_{atualizada} \pm ajustes) - Medição_{atual} \quad (1)$$

$$Linha\ de\ Base = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n + e \quad (2)$$

Onde  $b_i$ 's são as constantes de ajuste da linha de base,  $X_i$ 's são as variáveis independentes e “e” o erro associado [5].

Há diversos tipos de ajustes indicados no PIMVP como os de rotina e os de não rotina, mas como toda medição tem uma incerteza de medição associada, o PIMVP também utiliza o ajuste para mensurar esta incerteza associada ao processo de M&V.

Com relação as medições, o PIMVP traz dicas de como realiza-las e, para isso, indica em 4 tipos de opção medição: A, B, C e D. Resumidamente, há a possibilidade de medições em que a fronteira de medição é toda instalação (indicada quando se realizam muitas AEEs em um só cliente), há medições individualizadas (indicada para pequenas AEEs) e há simulações. Em todas as 4 opções, deve-se haver a medição direta da energia, seja por equipamento de medição instalado pela ESCO ou pelo medidor da distribuidora. Assim, no processo de M&V para comprovação de economia obtida após as AEEs implantadas há várias etapas de medição com diversas medições de fenômenos naturais e também de consumo de insumos energéticos, havendo, então, diversas fontes de incerteza de medição identificadas, que acabam integradas nos cálculos da economia. Tratar estas incertezas corretamente é essencial para que a remuneração à ESCO seja justa e o cliente enxergue uma efetiva economia.

### 3. COMPARAÇÃO ENTRE PIMVP E GUM

O PIMVP e o GUM se assemelham ao se basearem em estatísticas paramétricas para a expressão da incerteza de medição devido ao grande número de amostras. Utilizam a distribuição de *t-student* em combinação com desvios padrões para estabelecerem as incertezas.

Mas há várias diferenças entre GUM e PIMVP, desde nomenclaturas à diferenças de cálculos. Aqui serão apresentadas as que mais influenciam no cálculo da economia global e suas incertezas de medição.

Para comprovação da economia de energia no processo de M&V, além de ter que se apontar a

incerteza de medição associada a cada grandeza e unidade de medida analisada na conta de energia, é imprescindível apresentar um valor monetário final, global, da economia obtida, assim, é necessário que se realize a incerteza combinada.

O PIMVP indica um cálculo geral e incerteza combinada, que também está presente no GUM, de como calcular agregar diversas incertezas na incerteza combinada na medição de somente um parâmetro da conta de energia, mas o protocolo não explica como combinar as diversas unidades de medidas e grandezas diferentes da conta de energia na expressão da incerteza de medição associada a economia global final em valor monetário. E essa ponderação é importante, principalmente no cálculo total da economia, pois a conta de energia empresarial é normalmente dividida em várias grandezas, com vários parâmetros, unidades de medidas e tarifas correspondentes para diversas faixas de horários.

No Brasil, como exemplo, há a demanda (kW) e o consumo de energia (kWh) e são divididas em faixas de horários de aplicação (ponta e fora ponta) e cada uma delas possuem tarifas diferentes, como descrito na tabela 1.

**Tabela 1.** Exemplo de parâmetros, unidades de medidas e tarifas em contas de energia no Brasil

Parâmetro	Unidade de medida	Símbolo	Tarifa
Consumo na fora ponta	kWh	$c_{fp}$	$t_{c_{fp}}$
Consumo na ponta	kWh	$c_{pt}$	$t_{c_{pt}}$
Demanda na fora ponta	kW	$d_{fp}$	$t_{d_{fp}}$
Demanda na ponta	kW	$d_{pt}$	$t_{d_{pt}}$

O recomendado no GUM para agrupação de diversos parâmetros e unidades de medida para formar uma incerteza de medida com uma grandeza e unidade de medida de interesse é aplicar a Lei de Propagação de Incertezas. Essa insere um fator  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  à incerteza combinada como em (4)

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u_i^2 \quad (4)$$

Para encontrar o fator  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  aplicado ao M&V analisa-se cada uma das grandezas de forma que resultado final em valor monetário seja obtido. Este fator pode ser representado pelas tarifas, conforme pode ser visto (5) e (6).

$$f_i = \text{tarifa}_i \cdot \text{medição}_i \quad (5)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial \text{medição}_i} = \frac{\partial(\text{tarifa}_i \cdot \text{medição}_i)}{\partial \text{medição}_i} = \text{tarifa}_i \quad (6)$$

Assim, a incerteza combinada do exemplo da tabela 1 pode ser encontrada em (7).

$$u_{c_{\text{monetária}}}^2(y) = t_{d_{pt}}^2 \cdot u_{d_{pt}}^2 + t_{d_{fp}}^2 \cdot u_{d_{fp}}^2 + t_{c_{pt}}^2 \cdot u_{c_{pt}}^2 + t_{c_{fp}}^2 \cdot u_{c_{fp}}^2 \quad (7)$$

Na incerteza expandida é necessário que se encontre o fator de abrangência ( $k_{v_i}$ ) usando a distribuição de *t-student* e os graus de liberdade ( $v$ ). O PIMVP indica que a expansão deve ser feita individualmente para cada parâmetro apresentado na conta de energia, conforme (8), esquecendo de um cálculo para economia total monetária com todos os itens da conta agrupadas e suas incertezas de medição associadas. Utilizando como base o GUM é recomendado que seja encontrado o grau de liberdade efetivo antes de fazer a incerteza expandida. Portanto, o cálculo final da incerteza de medição expandida agrupando-se todos os parâmetros da conta de energia poderá ser calculado por (9) com o termo grau de liberdade efetivo especificado por (10).

$$u_{\text{exp}_i} = k_{v_i} \cdot u_i^2 \quad (8)$$

$$u_{\text{exp}_{\text{monetária}}} = k_{v_{\text{eff}}} \cdot u_{c_{\text{monetária}}}^2 \quad (9)$$

$$v_{\text{eff}} = \frac{(u_{c_{\text{monetária}}}^4)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{v_i}} \quad (10)$$

### 3. CONCLUSÃO

O PIMVP em questão de cálculo da incerteza tem muitas semelhanças com o GUM, mas ainda há bastante o que se evoluir no PIMVP, principalmente no cálculo final da economia em valor monetário. Deveria se indicar na expressão da incerteza combinada e na incerteza expandida como agrupar as diversas grandezas com suas unidades de medidas e tarifas para formar um valor de economia monetária final com suas incertezas de medição.

O vocabulário utilizado no PIMVP deveria passar por revisão, utilizando como base o GUM e, também o VIM (Vocabulário Internacional de Metrologia) para adequar alguns termos referentes a medição e verificação ao vocabulário metrológico correto.

### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao fomento da CAPES e a Otimiza Sustentável por fornecer treinamento para que embasasse esta pesquisa.

### REFERÊNCIAS

- [1] ISO, “STANDARD ISO 50001”, 2011.
- [2] EVO and INEE, PIMVP - Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - volume 1, vol. 1. 2012.
- [3] ISO, “STANDARD ISO 50015”, 2014.
- [4] X. Xia and J. Zhang, “Mathematical description for the measurement and verification of energy efficiency improvement,” Appl. Energy, vol. 111, pp. 247–256, 2013.
- [5] EVO, “Statistics and Uncertainty for IPMVP - International Performance Measurement and Verification Protocol,” 2014.
- [6] BIPM, “GUM - Guia de Expressão da Incerteza de Medição”, 2008.