

CONTRIBUIÇÕES PARA MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENVOLVENDO AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS DE FAMÍLIAS DE BAIXA RENDA

Bruno Gregorio Menita – brunomenita@gmail.com

José Luis Domingos – jose.domingos@ifg.edu.br

Elder Geraldo Domingues – prof.eldergd@gmail.com

Aylton José Alves – aylton.alves@ifg.edu.br

Wesley Pacheco Calixto – wpcalixto@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Adriano Ferreira de Faria – adriano.ff@celg.com.br

Marcio Leonel Silva Miguel – marcio.lsm@celg.com.br

CELG Distribuição S/A

Resumo. *Recentemente procedimentos de Medição e Verificação (M&V) adaptados do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) foram disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica para avaliação dos ganhos energéticos resultantes de Projetos de Eficiência Energética (PEE) das concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil. O presente trabalho contempla contribuições obtidas a partir da primeira aplicação do procedimento de M&V adaptado do PIMVP específico para PEE envolvendo substituição de chuveiro elétrico por sistema de aquecimento solar de água em residências de famílias de baixa renda no estado de Goiás. Destacam-se entre estas contribuições: i) constatação da importância da obtenção do nível de precisão da amostragem para pelo menos um dos parâmetros chaves, recomendando-se a maior estimativa para a definição da amostragem inicial e o planejamento de tempo e de recursos para medição complementar; ii) verificação da importância do alinhamento dos períodos de linha de base e de instalação do sistema de aquecimento solar nas residências componentes da amostragem, a fim de se evitar a redução do número de amostras devido à desconsideração de dados de medição; iii) levantamento e armazenamento de informações que possam subsidiar análises críticas a respeito dos resultados das etapas de M&V; iv) constatação da importância de se desenvolver metodologia de propagação para o ano completo da economia de energia e redução na demanda de ponta verificada em determinado período do ano, considerando-se assim a sazonalidade regional.*

Palavras-chave: *aquecimento solar de água; eficiência energética; medição e verificação de performance*

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica em termos mundiais exige planejamento e busca de alternativas para que esta seja atendida. Cada vez mais é também visível a necessidade deste atendimento ser sustentável, tendo em vista os problemas ambientais que a humanidade enfrenta e enfrentará como consequência de suas atividades. Neste contexto, o estudo das fontes alternativas de energia ganha importância, e, dentre estas, a energia solar apresenta um grande potencial de utilização, tanto para a geração de energia elétrica como para o aquecimento de água, contribuindo este último para redução da demanda de energia elétrica, uma vez que evita a necessidade de sua geração, transmissão e distribuição para utilização em aquecimento de água.

No Brasil, programas de governo recentes impulsionaram a utilização do aquecimento solar de água em habitações de famílias de baixa renda, como os Projetos de Eficiência Energética (PEE) envolvendo aquecimento solar das concessionárias de distribuição de energia elétrica, componentes do Programa de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Os benefícios decorrentes da Ação de Eficiência Energética (AEE) de um PEE podem ser avaliados sob as óticas: a) dos consumidores, que economizam financeiramente com a redução do consumo de energia elétrica; b) do sistema elétrico, que posterga investimentos em geração, transmissão e distribuição, em consequência da redução da demanda por energia elétrica; c) da sociedade, devido à redução das tarifas médias e dos impactos ambientais associados ao setor elétrico (ELETROBRAS, 2012).

Para avaliação da economia de energia elétrica e da redução de demanda de ponta de um PEE, é obrigatória a utilização do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) como referência para Medição e Verificação (M&V).

Porém, apesar de muito abrangente, o PIMVP estabelece critérios que, para a realidade de muitos PEE, tornam estes economicamente inviáveis, principalmente devido a longos períodos de medições necessários. Esta dificuldade foi relatada inclusive em estudo utilizando os critérios do PIMVP para avaliação de economia de energia em projetos

residenciais nos EUA (Kaiser e Pulsipher, 2010). Conforme preconiza o PIMVP, os custos de M&V não devem ultrapassar 10% das economias com a AEE.

Neste contexto, a Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica (ABRADEE) gerenciou o desenvolvimento de procedimentos de M&V adaptados do PIMVP em PEE por uso final, contando com contribuições de consultorias e parcerias. Desta forma, foram definidas novas metodologias de M&V por uso final aprovadas pela ANEEL e repassadas para as distribuidoras de energia elétrica em 2014.

Busca-se neste trabalho aplicar o procedimento de M&V adaptado do PIMVP a fim de se obter resultados e conclusões em termos de energia elétrica economizada e de redução na demanda de ponta a partir da substituição de chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar de água, como AEE. Esta aplicação permite a obtenção de contribuições para M&V em PEE futuros das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Destaca-se o caráter inovador da pesquisa, uma vez que a disponibilização da metodologia para aplicação é recente.

2. DEFINIÇÕES DO PROJETO

O objetivo geral do projeto consiste em, a partir de M&V, aplicando-se o PIMVP adaptado, obter resultados que expressem os efeitos da utilização do aquecimento solar de água em unidades habitacionais de famílias de baixa renda, para os moradores, para o sistema elétrico brasileiro e para a sociedade, a partir de PEE da Celg Distribuição S/A (CELG-D). Além da economia média de energia elétrica mensal para consumidores e da redução na demanda instantânea de energia elétrica no horário de ponta para o sistema elétrico brasileiro, destaca-se como objetivo específico deste trabalho a obtenção de diagnóstico e contribuições para melhoria do procedimento de M&V adaptado do PIMVP a ser aplicado a PEE que envolvam aquecimento solar de água em residências de baixa renda.

Três PEE da CELG-D envolvendo aquecimento solar de água em habitações de famílias de baixa renda foram selecionados como estudo de caso: Município de Itumbiara-GO, Residencial Real Conquista e Residencial Orlando de Moraes – estes últimos localizados no município de Goiânia-GO. Para os dois primeiros PEE mencionados foram utilizados dados medidos pela CELG-D nos períodos de setembro de 2008 e junho de 2010, respectivamente, anteriormente à instalação dos sistemas de aquecimento solar. Já o estudo de caso envolvendo o PEE Residencial Orlando de Moraes foi selecionado pela CELG-D por estar em fase de instalação dos sistemas de aquecimento solar no segundo semestre de 2014, tendo sido possível realizar M&V nas últimas residências ainda não contempladas pela AEE.

A fronteira de medição define os limites dentro do qual se deseja verificar economia de energia e redução na demanda de ponta resultante da AEE (EVO, 2012). Neste projeto é definida como o conjunto de circuitos de alimentação dos chuveiros e dos resistores, ou seja, o equipamento de medição utilizado deve ser capaz de medir os parâmetros-chaves de desempenho dentro desta fronteira de medição, isolando-se o chuveiro elétrico da instalação como um todo.

Parâmetros-chaves são variáveis diretamente responsáveis pelo consumo de energia dentro da fronteira de medição, sendo definidos para este projeto a potência elétrica do chuveiro durante o uso e o tempo de banho. Com estes parâmetros, é possível se obter o consumo na fronteira de medição, para o cálculo da economia de energia e, considerando-se o horário de ponta definido pela CELG-D – entre 18:00h e 21:00h, para o cálculo da redução na demanda de ponta. Considerou-se como “banho” todo intervalo com potência média maior que 0,1 kW, para evitar registros espúrios.

Já a variável independente não é diretamente responsável pelo consumo de energia, mas pode ter influência sobre o mesmo, sendo definida a temperatura ambiente como variável independente neste trabalho, obtida a partir de medições da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mais próxima.

Considera-se que não há efeitos interativos (efeitos energéticos que ocorrem fora da fronteira de medição e podem afetar resultados obtidos com a AEE), pois as perdas nos circuitos de alimentação da casa e do chuveiro são consideradas desprezíveis. Fatores estáticos definem a estrutura de consumo da residência, como número de pessoas, equipamentos eletroeletrônicos e lâmpadas, e não são considerados por serem de tamanho padrão as residências dos conjuntos habitacionais mencionados e por ser muito curto o período de medição, conforme descrito a seguir.

Período de linha de base corresponde ao período de medição anterior à AEE, enquanto no período de determinação da economia ocorrem as medições posteriores à AEE. Uma vez que os dados disponíveis referentes às medições anteriores à instalação dos sistemas de aquecimento solar no Residencial Real Conquista correspondem a onze dias do mês de junho de 2010, este é o período considerado como linha de base. Também utilizando dados disponíveis de medições de 16 dias do mês de setembro de 2008, este é considerado o período de linha de base para o PEE Município de Itumbiara. Em relação ao PEE Residencial Orlando de Moraes, considerando-se que as definições ocorreram antes das medições, decidiu-se utilizar sete dias como período de linha de base. Tais períodos curtos de medição são justificados pela metodologia a ser utilizada para M&V, adaptada do PIMVP para a realidade dos PEE, a fim de não inviabilizá-los economicamente.

Quanto ao período de determinação de economia, como a AEE resulta na extinção do consumo por chuveiros elétricos, não são realizadas medições. Há que se destacar que os sistemas de aquecimento solar instalados nas residências destes PEE não possuem aquecimento complementar de água.

A partir das definições acima, a Opção A de determinação de economia e de redução de demanda de ponta fornecida pelo PIMVP é escolhida. A justificativa está no fato de esta ser uma das opções indicadas para fronteira de

medição envolvendo um equipamento isolado da residência, considerar estimativa de um ou mais dos parâmetros chaves e contemplar a possibilidade de medições de curto prazo, essenciais para a viabilidade econômica dos PEE.

3. METODOLOGIA DE M&V

A metodologia de M&V contempla etapas descritas em ANEEL (2014-a) e ANEEL (2014-b), incluindo-se as expressões de cálculos e critérios utilizados neste trabalho.

A primeira etapa consiste na definição da amostragem. Esta etapa envolve primeiramente a definição do número inicial de amostras, a partir de duas estimativas, uma considerando a relação entre população e número de amostras dada pela NBR 5426 – Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Atributos, considerando-se regime de inspeção severa (nível 1), e a segunda calculada a partir do tamanho da população, dos níveis de confiança e de precisão da amostragem desejados (95% e 10%, respectivamente), e do coeficiente de variação oriundo de projeto anterior ou, sendo inexistente, atribuindo-se o valor de 50%. Como recomendado por ANEEL (2014-b), caso não haja restrições por tempo e número de medidores disponíveis, a adoção do maior número de amostras obtido através das duas estimativas mencionadas aumenta as chances de se atingir o nível de precisão requerido sem a necessidade de medição adicional.

Após obtenção dos valores medidos no período de linha de base, deve-se calcular o nível de precisão real da amostragem, utilizando-se o coeficiente de variação médio calculado com os dados obtidos, para cada parâmetro chave. Caso a precisão de 10% não for atingida (for maior que este valor), deve-se aumentar o número de amostras e realizar medição complementar, realizando-se assim processo iterativo até que seja atingido o nível de precisão desejado.

Uma vez obtidas medições dos parâmetros chaves no período de linha de base e as temperaturas correspondentes às datas das medições, verifica-se se há correlação entre parâmetro(s) e variável independente, através de análise de regressão linear. São avaliados três critérios estatísticos: i) o Coeficiente de Determinação (R^2); ii) o Coeficiente de Variação do Erro Médio Quadrático – $CV(EMQ)$, que mede a exatidão da previsão; iii) a *Distribuição-t*, um teste estatístico para determinar se uma estimativa tem importância estatística, devido à possibilidade de variação dos coeficientes de regressão.

De acordo com ANEEL (2014-c), adotando-se os critérios do caso repassado às distribuidoras de energia elétrica, para haver correlação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura ambiente, é necessário que pelo menos dois dos três critérios seguintes sejam atendidos: R^2 maior que 0,75; $CV(EMQ)$ menor que 5%; *Distribuição-t* maior que 2.

A próxima etapa consiste na verificação da economia de energia elétrica resultante da AEE, a qual é obtida através da diferença entre os consumos de energia verificados nos períodos de linha de base e de determinação da economia. Caso seja verificada a correlação acima mencionada, a regressão é validada e utilizada como base de ajuste dos consumos de energia na fronteira de medição obtidos nos diferentes períodos para uma condição fixa, a fim de se isolar a influência da variável independente. Desta forma, a economia de energia verificada reflete somente os efeitos da AEE. O cálculo da redução da demanda de energia elétrica no horário de ponta corresponde à diferença das demandas de ponta verificadas nos períodos de linha de base e de determinação da economia, não havendo necessidade de ajustes para condição fixa.

Para que haja confiança nos resultados de economia de energia e redução de demanda de ponta a partir de M&V é necessário que haja níveis de incerteza razoáveis referentes a estes resultados, conforme preconiza o PIMVP. Dada a incapacidade de se obter o valor exato de um resultado, a incerteza expressa uma faixa de valores dentro da qual o valor exato se encontra, ou seja, tem-se uma estimativa com certo nível de incerteza. Esta incapacidade se dá devido ao fato de atividades de amostragem, medição e modelagem conterem erros aleatórios e sistemáticos. Os primeiros se referem à variabilidade natural dos processos e devem ser abordados com métodos estatísticos, enquanto os erros sistemáticos se referem à tendência que se observa entre os valores (viés dos dados), conforme Cabral (2004).

Logo, a última etapa de cálculo da metodologia de M&V consiste na obtenção das incertezas absoluta e relativa para cada parâmetro chave, a partir da combinação das precisões de amostragem, medição e de modelagem, sendo esta última considerada somente em caso de correlação entre parâmetro chave e variável independente.

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE M&V ADAPTADO DO PIMVP

A etapa da metodologia referente à definição de amostragem foi contemplada somente no estudo de caso envolvendo o Residencial Orlando de Moraes, uma vez que neste houve definições anteriores às medições, o que não foi possível em relação aos demais casos, já que foram obtidos dados de medições realizados em períodos passados. O número de amostras corresponde ao produto do número de residências com o número de dias do período de linha de base. A Fig. 1 mostra a amostragem definida (Menita, 2015).

	Residências	Dias	Residência.dia
NBR 5426	32	7	224
Expressões PIMVP	12	7	82
Amostragem Inicial	18	7	126

Figura 1- Definição do número inicial de amostras para medição no PEE Residencial Orlando de Moraes.

Através da NBR 5426, considerando-se regime de inspeção severa, para a população de 544 residências do residencial Orlando de Moraes o número de amostras equivalente é de 32 residências, e considerando-se 7 dias como período de linha de base, obtém-se a estimativa de 224 *residência.dia*. Já através das expressões fornecidas pelo PIMVP obtém-se o número de amostras de 82 *residência.dia*, o que equivale ao número inteiro mais próximo de 12 residências durante 7 dias de medição. A partir destas duas estimativas, considerando-se as restrições referentes ao número de medidores disponíveis e o pouco tempo até a instalação do sistema de aquecimento solar nas últimas residências do conjunto habitacional, definiu-se junto à CELG-D amostragem inicial de 18 residências, o que corresponde ao número de amostras de 126 *residência.dia*.

A próxima etapa do procedimento de M&V consiste em medição para obtenção dos parâmetros chaves. A Fig. 2 mostra um medidor de energia sendo instalado em um chuveiro de uma das residências do Residencial Orlando de Moraes. A Fig. 3 mostra a extração dos dados registrados na memória de massa dos medidores (Menita, 2015).



Figura 2- Medidor de energia consumida pelo chuveiro elétrico.



Figura 3- Extração dos dados de medição.

Uma vez que os medidores utilizados registram energia consumida pelo chuveiro ao longo do tempo, é possível transformar os valores obtidos em potência e tempo de banho, ou seja, nos parâmetros chaves definidos. Este procedimento é recomendado na metodologia utilizada para que o nível de precisão da amostragem seja obtido, uma vez que a variabilidade dos valores de potência é menor do que de energia consumida. Há que se destacar que sem esta transformação, o alcance do nível de precisão desejado leva ao aumento excessivo do número de amostras, o que pode tornar um PEE com estas características economicamente inviável.

A Tab. 1 mostra os resultados da obtenção do nível de precisão da amostragem nos três estudos de caso. Primeiramente destaca-se o número de amostras real de 77 *residência.dia* no Residencial Orlando de Moraes, que representa a primeira contribuição a ser destacada para próximas aplicações do procedimento de M&V em PEE das distribuidoras de energia elétrica. Após a extração dos registros da memória de massa dos medidores instalados nas amostras deste conjunto habitacional, verificou-se que em algumas residências o consumo de energia pelo chuveiro elétrico cessou em um determinado momento do período de linha de base. Devido a falha de comunicação entre a concessionária e a empresa responsável pela instalação dos sistemas de aquecimento solar no conjunto habitacional, houve instalação destes sistemas em residências componentes da amostra durante o período de medição. Logo, registra-se a importância do alinhamento dos períodos de medição e de instalação dos sistemas de aquecimento solar nas residências da amostragem.

Para que uma amostragem seja estatisticamente válida, o nível de precisão deve ser menor ou igual a 10% para pelo menos um dos parâmetros chaves, sendo tais parâmetros considerados medição. O parâmetro chave tempo de banho é considerado como estimativa (e não medição), uma vez que o nível de precisão desejado não é obtido, além do fato de que o medidor utilizado não realiza medição contínua do tempo de banho, sendo necessário estimá-lo a partir dos registros de energia consumida pelo chuveiro durante os intervalos de 5 minutos.

O nível de precisão obtido para o parâmetro chave potência elétrica somente é válido para o Residencial Real Conquista. Nos demais estudos de caso, haveria a necessidade de aumento no número de amostras, o que não foi possível devido à finalização da instalação dos sistemas de aquecimento solar nas residências remanescentes do Residencial Orlando de Moraes e por serem utilizados dados de medições realizadas no passado em Itumbiara. A continuação das etapas da metodologia mesmo não atingindo o nível de precisão é justificada pelo caráter experimental do projeto.

Tabela 1 – Nível de precisão da amostragem obtido nos três estudos de caso.

Número de amostras	Orlando de Morais	Real Conquista	Itumbiara
Número de residências com M&V	11	8	16
Número de dias de medição	7	11	4
Número de amostras (<i>residência.dia</i>)	77	88	64
Nível de precisão do parâmetro chave: potência elétrica	18%	8%	12%
Nível de precisão do parâmetro chave: tempo de banho	27%	13%	17%

Dentre os parâmetros chaves, definiu-se a potência elétrica como parâmetro com maior possibilidade de influência pela variável independente. Verificou-se então que nos três estudos de caso não há correlação entre a potência elétrica de utilização do chuveiro e a temperatura ambiente no período de linha de base, uma vez que os critérios não foram atingidos. Como exemplo, os resultados dos cálculos referentes ao PEE Residencial Orlando de Moraes foram: R^2 igual a 0,2% (menor que 75,0%); $CV(EMQ)$ igual a 78,4% (maior que 5,0%); $Distribuição-t$ igual a 0,35 (menor que 2,00).

A Tab. 2 apresenta os resultados para a economia de energia elétrica obtida em cada estudo de caso. Como não há correlação entre potência elétrica e temperatura ambiente, a economia de energia diária corresponde ao produto da potência elétrica média e do tempo de banho médio obtidos com as amostras do período de linha de base, já que não há consumo no período de determinação da economia, conforme já mencionado. As economias diárias são então transformadas em economias mensais para os consumidores, que representa um dos objetivos específicos deste trabalho. Considerando-se a propagação da amostragem para a população dos estudos de caso em um ano, obtém-se a economia de energia elétrica anual com cada PEE.

Tabela 2 – Comparação de dados e resultados de economia de energia dos PEE

Resultados	Orlando de Morais	Real Conquista	Itumbiara
Número de residências contempladas com a AEE	544	478	1.080
Potência média diária por residência (kW)	1,56	2,79	2,79
Tempo de banho médio diário total por residência (minutos)	9,87	33,21	34,57
Consumo de energia evitado médio diário por residência (Wh)	256,38	1.545,34	1.606,01
Consumo de energia evitado médio mensal por residência (kWh)	7,69	46,36	48,18
Consumo anual de energia evitado com o PEE (MWh)	50,21	265,92	624,42

É possível observar que a economia média mensal de energia elétrica verificada para as famílias dos conjuntos habitacionais de cada estudo de caso é mais expressiva para os PEE Residencial Real Conquista e Itumbiara, assim como os valores médios dos parâmetros chaves potência elétrica e tempo de banho.

O tempo de banho diário pode ser consequência da quantidade de banhos nas residências do conjunto habitacional, assim como da rotina local em relação ao tempo de banho. Para se verificar estas duas influências, seria necessário considerar os dados relacionados aos fatores estáticos e hábitos dos moradores das residências contempladas nas amostras, o que não foi possível em relação aos PEE Real Conquista e Município de Itumbiara. Assim, mostra-se a importância do levantamento de informações comportamentais a respeito da rotina das famílias e das residências da amostra de um PEE, assim como armazenamento destas informações, para que seja possível realizar comparações entre resultados, levando-se em consideração as condições e realidades da população de cada localização avaliada.

Exemplos de informações importantes para subsidiar análises em relação ao tempo de banho médio foram obtidos no Residencial Orlando de Moraes, em entrevista junto às famílias antes das medições no período de linha de base. A média de número de moradores das residências que serviram como amostras é de 2,2 pessoas, a qual pode ser considerada um valor baixo para um conjunto habitacional habitado por famílias de baixa renda, mesmo sendo as residências de pequeno porte. Há também relatos que podem ser considerados, como a preferência por um dos banhos diários ocorrer no local de trabalho da pessoa, devido ao afastamento do residencial em relação às regiões centrais do município.

A diferença entre a potência elétrica média diária obtida no PEE Residencial Orlando de Moraes e as obtidas nos demais estudos de caso pode ser explicada pela posição do chuveiro elétrico utilizada nas residências durante o período de medição. Ao se verificar a temperatura ambiente média dos dias de medição de cada PEE, verifica-se grande diferença entre o Residencial Orlando de Moraes e os demais. Neste, a temperatura média foi de 30,5 °C, enquanto que

nos dias de medição nos PEE Residencial Real Conquista e Itumbiara esta foi de 22,9 °C e 24,0 °C, respectivamente, o que pode ter influenciado a posição associada a uma maior potência utilizada no chuveiro elétrico, e conseqüentemente a potência elétrica média diária maior obtida nestes dois PEE.

Também contribui para valores médios menores de potência elétrica e tempo de banho referentes ao PEE Orlando de Moraes o fato de tais valores médios serem obtidos considerando-se inclusive amostras em que os valores diários destes parâmetros chaves correspondem a zero, ou seja, em que não houve registro de consumo de energia elétrica pelo chuveiro no dia de medição na residência. Isto ocorreu em 19 das 77 amostras deste estudo de caso, ou porque não houve banho no dia na residência, ou mais provavelmente porque, devido à alta temperatura, o banho foi tomado com água não aquecida, não havendo assim consumo registrado.

Tais amostras com valores de parâmetros chaves zerados reduzem os valores médios obtidos, mas ao desconsiderá-las pode-se superestimar a economia de energia obtida com o PEE. Quando desconsideradas, a potência média no PEE Orlando de Moraes passa a ser 2,04 kW, o que fica mais próxima da potência de um chuveiro comum em posição “verão”, e o tempo de banho médio passa a ser 12,46 minutos. Ou seja, quando analisados os valores médios dos parâmetros chaves, estes podem parecer baixos, mas garante-se assim que a economia de energia e a redução na demanda de ponta não sejam superestimados, respeitando-se desta forma um dos princípios do PIMVP.

Para a obtenção da potência elétrica média referente à utilização de chuveiros no horário de ponta multiplicou-se a potência média medida pelo tempo total de banho médio deste intervalo, e dividiu-se este valor por três, dado que este é o número de horas do intervalo de ponta. Obteve-se então o valor médio retirado da ponta com a AEE em uma residência e, considerando-se a população dos estudos, calculou-se a redução na demanda de ponta obtida a partir dos PEE analisados. Os resultados são apresentados na Tab. 3, para os três estudos de caso.

Tabela 3 – Resultados de redução na demanda de ponta com os PEE

Resultados	Orlando de Moraes	Real Conquista	Itumbiara
Número de residências contempladas com a AEE	544	478	1080
Potência média diária por residência (kW)	1,96	2,46	3,08
Tempo de banho médio diário na ponta por residência (minutos)	7,96	19,82	19,09
Redução média na demanda de ponta por residência (kW)	0,09	0,27	0,33
Redução na demanda de ponta com o PEE (kW)	47,28	129,29	352,92

Assim como a economia de energia média diária, a redução média na demanda de ponta por residência é significativamente maior com os PEE Residencial Real Conquista e Itumbiara. As possíveis causas desta diferença são as mesmas já mencionadas no comparativo entre resultados relacionados à economia de energia (temperatura ambiente e potência selecionada para operação do chuveiro), já que tanto a potência elétrica média como o tempo de banho médio no horário de ponta são menores no PEE Residencial Orlando de Moraes.

A Tab. 4 apresenta a incerteza relativa calculada para os dois parâmetros chaves em cada estudo de caso. A diferença observada reflete a dispersão dos valores de medição que impactam na incerteza de amostragem, principalmente em relação ao PEE Orlando de Moraes, uma vez que a incerteza de modelagem não foi considerada e a incerteza de medição é a mesma para todos os casos. Este impacto da incerteza de amostragem em valores altos de incerteza combinada reforça a importância de se obter nível de precisão adequado para a amostragem selecionada.

Tabela 4 – Comparativo da incerteza relativa calculada nos estudos de caso

Consumo de energia elétrica evitado				
Orlando de Moraes	Potência (kW)	1,56	±	18%
	Tempo de uso (min/dia)	9,87	±	27%
Real Conquista	Potência (kW)	2,79	±	8%
	Tempo de uso (min/dia)	33,21	±	13%
Itumbiara	Potência (kW)	2,79	±	12%
	Tempo de uso (min/dia)	34,57	±	17%
Redução na demanda de ponta				
Orlando de Moraes	Potência (kW)	1,96	±	10%
	Tempo de uso (min/dia)	7,96	±	15%
Real Conquista	Potência (kW)	2,46	±	8%
	Tempo de uso (min/dia)	19,82	±	12%
Itumbiara	Potência (kW)	3,08	±	8%
	Tempo de uso (min/dia)	19,09	±	11%

5. CONCLUSÃO

A aplicação do procedimento de M&V adaptado do PIMVP nos PEE envolvendo aquecimento solar de água em residências de famílias de baixa renda que compõem os estudos de caso deste trabalho proporcionou a obtenção de contribuições para próximas aplicações em PEE da CELG-D e demais distribuidores de energia elétrica do Brasil. Primeiramente, a partir dos resultados obtidos para o nível de precisão da amostragem e para a incerteza combinada nos estudos de caso deste trabalho, destaca-se a importância do planejamento da medição considerando-se o processo de obtenção de amostragem.

Conforme já mencionado, a adoção do maior número de amostras obtido através das duas estimativas mencionadas, ou seja, através da NBR 5426 e das expressões fornecidas pelo PIMVP aumenta as chances de se atingir o nível de precisão requerido sem a necessidade de medição adicional. Caso haja restrições de número de medidores para se respeitar a amostragem inicial definida, é necessário considerar no planejamento do processo de M&V períodos de medição complementar.

O acompanhamento das etapas de M&V no PEE Orlando de Moraes também possibilitou conclusão a respeito da importância do alinhamento dos períodos das etapas de um PEE, mais especificamente em relação aos períodos de medição na linha de base e de instalação do sistema de aquecimento solar de água nas residências, a fim de se evitar a perda de amostras causada pela instalação do sistema de aquecimento ao longo do período de medição dos parâmetros-chaves referentes ao chuveiro elétrico, o que também prejudica a obtenção do nível de precisão de amostragem requerido para a confiabilidade dos resultados.

Períodos curtos de medição são essenciais para a viabilidade da M&V e consequentemente dos PEE, sendo adaptações importantes para o procedimento de M&V atual. Porém, considerando-se os resultados obtidos com a verificação de correlação entre temperatura ambiente e potência elétrica do chuveiro, constata-se que dificilmente a variação da variável independente explicará a variação do parâmetro-chave. Já a comparação entre resultados de PEE cuja medição ocorreu em diferentes épocas do ano, a temperatura ambiente pode se mostrar mais influente sobre tais resultados, como pôde ser verificado através dos estudos de caso.

Os resultados apresentados para o PEE Residencial Orlando de Moraes também reforçam a importância de trabalhos futuros envolvendo o desenvolvimento de metodologia de propagação para o ano completo da economia de energia e redução na demanda de ponta verificada em determinado período do ano, considerando-se assim a sazonalidade regional. As medições realizadas no mês de outubro neste estudo de caso podem ser consideradas atípicas, pois os valores médios dos parâmetros-chaves mostraram-se significativamente abaixo dos valores obtidos nos demais estudos de caso.

Por fim, recomenda-se também para M&V futura a utilização de medidores cujo registro de energia seja feito em intervalos menores do que 5 minutos, no sentido de evitar superestimativa ou subestimativa dos parâmetros-chaves, o que contribui para maior confiabilidade dos resultados de economia de energia elétrica e redução na demanda de ponta, sem deixar de se considerar o equilíbrio entre custo e benefício destacado pelo PIMVP.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – Programa De Eficiência Energética, 2014-a. Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE, Brasília.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – Programa de Eficiência Energética, 2014-b. Guia de Medição e Verificação para Programa de Eficiência Energética Regulado pela ANEEL, Brasília.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – Programa de Eficiência Energética, 2014-c. Plano de M&V para aquecimento de água em baixa renda, Brasília.
- Cabral, P., 2004. Erros e incertezas nas medições, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.
- Centrais Elétricas Brasileiras S/A, 2012. Energia solar para aquecimento de água do Brasil: contribuições da Eletrobrás Procel e parceiros, Eletrobrás, Rio de Janeiro.
- Efficiency Valuation Organization, 2012. Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance: Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água, Volume 1, EVO, Toronto.
- Kaiser, M., Pulsipher, A., 2010. Preliminary assessment of the Louisiana Home Energy Rebate Offer program using IPMVP guidelines, Elsevier: Applied Energy, vol. 87, pp. 691-702.
- Menita, B. G., 2015. Medição e Verificação em Projetos de Eficiência Energética Envolvendo Aquecimento Solar de Água em Habitações de Famílias de Baixa Renda, Dissertação de Mestrado, IFG, Goiânia.

CONTRIBUTIONS FOR MEASUREMENT AND VERIFICATION IN ENERGY EFFICIENCY PROJECTS INVOLVING SOLAR WATER HEATING SYSTEMS IN HOMES OF LOW-INCOME FAMILIES

Abstract. Recently Measurement and Verification (M&V) procedures adapted from the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) were made available by the Brazilian Electricity Regulatory Agency for evaluation of energetic benefits resulting from Energy Efficiency Projects (EEP) of electricity distribution

companies. This paper presents contributions obtained from the first application of the M&V procedure adapted from IPMVP specific for EEP involving the substitution of electric shower by solar water heating system in homes of low-income families in Goiás state. The next contributions are highlighted: i) awareness of the importance of reaching the required sampling precision level for at least one of the key parameters, with the recommendation of adopt the highest estimate for the initial sampling definition and predict time and resources for complementary measurement; ii) verification of the importance of align periods of measurement in baseline and installation of solar water heating systems in homes components of the sampling, in order to avoid reduction in the number of samples due to disconsideration of measurement data; iii) survey and storing information that can support critical analyzes regarding the results of the M&V steps; iv) awareness of the importance of developing methodology of spreading for the full year of the electricity saving and the peak demand reduction verified in certain period of the year, considering as well the regional seasonality.

Key words: *solar water heating; energy efficiency; performance measurement and verification*