



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Igor Souza Ribeiro	Marcelo Agenor A. Ximenes Bernardes	Ariosto Dantas da Luz
Norsul Engenharia e Consultoria Ltda.	Companhia Enegetica de Alagoas	Norsul Engenharia e Consultoria Ltda.
igor@norsulengenharia.com.br	marcelo.ximenes@ceal.com.br	ariosto@norsulengenharia.com.br

Amanda Dias Souza Santos	Adonias Magdiel Silva Ferreira	Jorge Eduardo Soto Marambio
Norsul Engenharia e Consultoria Ltda.	Norsul Engenharia e Consultoria Ltda.	Norsul Engenharia e Consultoria Ltda.
amanda@norsulengenharia.com.br	adonias@norsulengenharia.com.br	norsul@norsulengenharia.com.br

Planos Inovadores de M&V para Iluminação no Poder Público visando Potencializar a Completude e Precisão dos Resultados

Palavras-chave

Amostragem
Conforto visual
Incerteza
Medição e verificação
Poder público

Resumo

As práticas de Medição e Verificação (M&V) aplicadas atualmente nos Projetos de Eficiência Energética no Poder Público normalmente reportam informações do desempenho energético do projeto, limitadas principalmente na completude e precisão dos resultados. Este artigo traça um panorama das práticas de M&V aplicadas em Projetos de Eficiência Energética enquadráveis na tipologia Poder Público, identificando possibilidades de aprimoramento no sentido das diretrizes do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), e adensando nos princípios fundamentais de uma boa prática de M&V. São analisadas as etapas de baseline, amostragem, abordagem do PIMVP, disponibilidade e especificação de instrumentação específica, duração e procedimento das medições e análise dos dados. O escopo estabelecido contemplou inicialmente a avaliação do uso final iluminação, por ser o mais difundido nas ações de eficiência energética em instalações do poder público. Como continuidade deste trabalho, serão

desenvolvidos modelos para climatização e para demais tipologias de projetos de eficiência energética.

1. Introdução

Segundo a ANEEL [1], a tipologia Poder Público compreende os projetos de eficiência energética realizados em instalações de responsabilidade jurídica de poder público, podendo envolver desde centros administrativos a escolas e hospitais.

Cerca de 30% dos projetos (13% dos recursos), a nível nacional, são enquadrados nesta tipologia e envolvem os usos finais iluminação (55%), climatização (24%), refrigeração (9%), aquecimento de água (6%), outros (3%) e força motriz (2%). Dos mais de 2 milhões de equipamentos trocados, 74% correspondem a lâmpadas (38% LFT, 30% LFC e 6% LED), 20% a ar condicionado (16% janela e 4% Split), 6% a outros (3% aquecedor solar, 2% geladeira e 1% motor) [2,3,4].

Os usos finais iluminação e climatização se destacam. Se analisadas as relações custo-benefício (RBC) individuais, em média, a iluminação resulta em 0,67. Todavia, valores pontuais de RCB carregam representatividade limitada, sem incerteza e intervalo de confiança associados, e podem ser resultado de uma visão distorcida dos benefícios, tanto pela precisão dos Planos de M&V quanto nas situações em que há alterações (intencionais ou ocasionais) de níveis de iluminação e nos quais não é feita a normalização. Para compensar as simplificações, as recomendações são de avaliar por baixo a economia (de forma conservativa), sobretudo quando os desvios potenciais são maiores.

A metodologia de avaliação destes projetos concentra-se na Opção A, com 72% dos projetos; 17% não descrevem claramente a Opção escolhida; 6% utilizam as Opções A e B simultaneamente; e os 5%, utilizam a Opção B, C ou não é informada.

Além das incertezas, o método de quantificação dos ganhos resultantes usualmente considera apenas a parcela elétrica (kWh e kW), que ainda carrega limitações técnicas, pelas restrições das informações fornecidas pelos equipamentos comumente utilizados na verificação destes projetos, sobretudo pela incipiência da instrumentação específica. Este cenário permite vislumbrar as potencialidades e necessidades de avanço nos medidores atuais, permitindo, além da representatividade dos ganhos elétricos, que também possam ser incorporados os benefícios técnicos não-elétricos (iluminância e conforto térmico) e sócio-ambientais.

É princípio básico de M&V [5,6] equalizar as condições para prover o cálculo completo dos ganhos, considerando todos os efeitos de um projeto, redefinindo o limite de medição e subsidiando a metodologia de projeção dos resultados para base anual, mas a aplicação consistente carrega conceituações e mecanismos não-triviais e pouco conhecidos, o que introduz um vetor contrário à difusão e penetração da prática no setor.

Mesmo com as restrições existentes, quando totalizados os ganhos indicados por cada projeto [2,3], independente da metodologia utilizada e desconsiderando a compatibilização dos intervalos de confiança associados, resultam em mais de 230 GWh/ano e 52 MW.

Nestes resultados, não é incluída a parcela de eficácia do projeto de eficiência energética no que tange a reengenharia do sistema (considera apenas o retrofit). Uma contradição comumente observada é que uma possível redução dos níveis de iluminação que viola os limites do conforto ambiental, pode contribuir com melhores resultados do projeto, a partir da redução da potência instalada.

Visando uma maior completude da M&V, uma alternativa inovadora (em relação às práticas brasileiras) é avaliar a energia requerida pelos sistemas pré e pós retrofit, a partir da projeção do conforto ambiental para níveis equânimes. Neste sentido, a eficiência energética é entendida como a otimização da utilização da

energia, abrangendo: avanço da tecnologia e performance, deslocamento da ponta, transformação do mercado de energia elétrica, benefícios públicos, melhoria das condições de conforto do usuários etc.

Dessa forma, a consideração de ganhos associados ao atendimento às demandas reprimidas, ou adequação dos níveis luminotécnicos às normas vigentes e/ou às necessidades dos usuários, podem explicitar a viabilidade algumas vezes não alcançadas pela abordagem convencional que considera apenas ganhos elétricos diretos. Adensa-se ainda à metodologia inovadora a capacidade de converter, através de modelos matemáticos, ganhos adicionais em parâmetros elétricos, nos critérios de avaliação vigentes: energia economizada e redução de demanda na ponta, sem criar novos indicadores.

Todavia, a difusão da metodologia como prática recorrente nos projetos de eficiência energética brasileiros requer um avanço tecnológico no desenvolvimento de equipamentos e redução custos com as medições envolvidas, uma vez que são incluídas novas grandezas ao estudo, que precisam ser mensuradas de forma precisa, completa e fornecer resultados densos e abrangentes.

E neste sentido, é fundamental simplificar e baratear o processo de medição dos níveis luminotécnicos, hoje sintetizados pelos levantamentos em campo da posição das luminárias referenciadas a partir das instalações físicas correspondentes; envio das informações de campo para escritório; análise das informações e determinação dos pontos de medição conforme NBR 5382; medição nos pontos determinados; cálculo da iluminância média do ambiente.

No que tange à medição de tempo de uso das lâmpadas, as dificuldades operacionais e técnicas e com poucas informações associadas, caracteriza o cenário atual, quando utilizado. A dificuldade de instalação dos horímetros convencionais, que envolve a sua conexão direta com o circuito elétrico, e a leitura manual e visual do tempo total de uso limitam sua aplicação. Já os horímetros importados, que já incorporam tecnologia de medição não invasiva, além de serem restritos à medição de apenas um ponto de iluminação, podem ser influenciados pela iluminação natural e/ou da proximidade de demais lâmpadas ao ponto de medição, introduzindo possíveis desvios no processo de medição.

Neste artigo, é apresentado um panorama das práticas e equipamentos de M&V aplicados atualmente na verificação dos resultados de projetos de eficiência energética, critérios de priorização, limitações e oportunidades de melhorias e inovações. Visando otimizar o processo e potencializar a completude e precisão dos ganhos reportados, propõe-se ainda um Plano Inovador com análise de cada aspecto: opção do PIMVP, amostragem, baseline, instrumentação, duração e procedimentos das medições, análise dos dados e avaliação da incerteza global. O estudo é focado no uso final iluminação, de forma ampla e imparcial, buscando oportunidades para inovar a abordagem convencional.

2. Desenvolvimento

2.1. Panorama Atual da Medição e Verificação na Tipologia Poder Público

As características dos projetos de Eficiência Energética em instalações do Poder Público conferem particularidades à avaliação dos resultados cuja concepção consistente encaminha à aplicação da M&V conforme os princípios da boa prática [5,6].

O primeiro aspecto é a importância da conformidade técnica e melhoria do sistema do ponto de vista do usuário (além do atendimento aos critérios de avaliação inicial e final). Todavia, a maioria dos retrofits se realiza pelo processo de simples substituição admitindo a priori que já existe adequação luminotécnica, o que introduz um vetor de desestímulo à utilização de acessórios, como luminárias espelhadas, para melhoria

do rendimento energético dos equipamentos, uma vez que, em uma análise direta e simplificada, só representa custos no processo de viabilização econômica.

A adequação do conforto dos servidores públicos e da população, em termos luminotécnicos, deve ser promovida por projetos nos quais está incluída a eficiência energética. É um equívoco conceitual desprezar os possíveis ganhos de níveis luminotécnicos.

A eficiência energética deve ser pensada segundo dois componentes: tecnológico e comportamental, e ambos devem ter os ganhos mensurados.

A componente tecnológica deve-se principalmente ao incremento de eficiência energética dos equipamentos novos, em relação aos antigos. Ou seja, mantendo-se constante as condições ambientais, o ganho é obtido pela subtração do uso da energia e demanda no pré-retrofit pelas respectivas grandezas no pós-retrofit. Todavia, na prática, o usual é que, na substituição tecnológica, as condições fornecidas pelos equipamentos sejam alteradas, introduzindo um vetor de complexidade que, sendo omitido, leva à simplificação do processo pela desconsideração dos ganhos devido à variação da energia fornecida.

Um caso frequente acontece em projetos de eficiência energética quando equipamentos antigos, além de requererem um patamar elevado de demanda e energia do sistema elétrico, não proporcionam um nível satisfatório de conforto visual. Na substituição, a demanda e o uso da energia podem não ser tão reduzidos, mas o conforto ambiental é melhorado, e deve ser incorporado aos ganhos do projeto.

Adensam-se as recomendações do PIMVP [5] de que sem o ajuste para a mudança na produção, a diferença entre consumo de referência e o de determinação de economia de energia reportaria uma subinformação acerca do efeito do projeto.

O segundo aspecto fundamental dos projetos de eficiência no Poder Público trata da combinação da intensidade em retrofits; da dispersão dos prédios, em termos de estrutura física e funcional; do nível de desagregação; e do dimensionamento e especificação da amostra, que são discutidos na sequência.

A amostragem probabilística simplifica o processo de levantamento de dados e/ou medições, considerando um número reduzido de elementos, mas explicitando a incerteza na utilização de estimativas amostrais para representar parâmetros populacionais. A abordagem convencional utilizada na M&V considera um erro amostral limitado a 10%, a um intervalo de confiança de 90% [5]. O Manual dos Programas de Eficiência Energética [1] limita o foco do dimensionamento aos Projetos Baixa Renda, caracterizados por serem ainda mais intensivos em retrofits que os projetos enquadrados na tipologia Poder Público. Desta forma, uma vez que há referência ao PIMVP [1,5], a determinação do tamanho da amostra pode ser feita pela aplicação da Equação (1) [5].

$$n_0 = z^2 \cdot cv^2 / e^2 \quad (1)$$

Onde n_0 é a estimativa inicial do tamanho da amostra requerido; cv é o coeficiente de variância, sendo $cv = 0,5$ a estimativa inicial (pior caso); e a incerteza introduzida esperada; e z o escore reduzido da distribuição normal padrão.

Se a população for inferior a 20 vezes do tamanho da amostra obtido pela Equação (1) é ajustado pela Equação (2):

$$n = (n_0 \cdot N) / (n_0 + N) \quad (2)$$

Onde N : tamanho da população; e n : tamanho da amostra requerido ajustado.

Para aplicação das Equações (1) e (2), deve-se especificar o processo de amostragem, esclarecendo

previamente o problema conceitual envolvido. A qualidade da identificação das variáveis que constituem a hipótese da pesquisa é fundamental para a consistência do Plano conforme diretrizes estatísticas.

As seleções sem método claro ou por julgamento introduzem vetores de desestruturação da avaliação das incertezas associadas e da representatividade dos resultados. Porém, de acordo com MPEE [1], a amostragem definida como probabilística conduz a um controle mais adequado das incertezas associadas.

Neste contexto, as unidades amostrais (ambientes dos prédios) podem receber uma desagregação em pelo menos um nível de estratificação, justificando a aplicação do processo de amostragem em múltiplos estágios.

Um outro aspecto tange a dificuldade de medição e a restrição de equipamentos para aplicação específica, tendendo ao aumento de custos e normalmente levando à simplificação do processo por estimativas que tentam substituir as medições (no mínimo, 78% dos projetos utilizaram estimativas na avaliação dos resultados).

A utilização de estimativas predominantemente intuitivas pode prejudicar a eficácia do modelo, mesmo que os índices de performance sejam satisfatórios. Ainda acresce-se a dificuldade de mensuração das incertezas associadas às estimativas e a consequente representatividade dos resultados.

Por fim, o quarto aspecto é a projeção dos ganhos para base anual e o reporte das incertezas associadas. O baseline surge, neste sentido, com um conjunto de procedimentos fundamentais para converter os dados relevantes medidos e condições de operação em energia economizada e redução de demanda na ponta, através de modelos matemáticos demonstráveis.

Desta forma, o ganho anualizado carrega componentes de sazonalidade que devem ser consideradas na forma de variáveis independentes e ajustes do modelo do baseline, que descreve o comportamento da demanda e o uso da energia. Além disso, deve atender a uma série de testes estatísticos, para reduzir os possíveis desvios e tendências do modelo; e considerar condições padrão tanto para o baseline quanto para o pós retrofit.

O que se aplica normalmente é a regressão linear simples das grandezas mensuradas no período de medição ou estimação, para a base anual, considerando os dias de funcionamento no ano. Com isso, a sazonalidade deixa de ser ponderada e os resultados passam a ser incompletos e imprecisos, além de muitas vezes otimistas do ponto de vista de ganhos. A diretriz é que o Plano seja conservador [5,6].

2.2. Metodologia Proposta para M&V da Iluminação no Poder Público

2.2.1. Aplicação

Aplica-se a projetos em cuja verificação pretende-se baixa incerteza, e determina a medição de todas as variáveis relevantes para a verificação de resultados (Opção B). A normalização em relação à iluminância é necessária em projetos que preveem a melhoria nos níveis de iluminação, mas a metodologia proposta é factível e indicada a quaisquer projetos, já que variações de iluminância (inclusive reduções) são ponderadas nos ganhos totais.

2.2.2. Especificação da Amostra

Inicialmente, compreende o levantamento preliminar das potências nominais das lâmpadas objeto de retrofit, e a estimativa do tempo de uso dos ambientes, que comporão o consumo estimado devido à iluminação,

utilizado como variável de base para a definição da amostra. Havendo lâmpadas ausentes que serão incluídas na ação de eficiência energética, deve-se considerar a potência média das lâmpadas da mesma luminária ou do mesmo ambiente.

Propõem-se dois níveis de desagregação: prédios e ambientes (processo de amostragem em dois estágios), sendo que prédios semelhantes em estrutura física e funcional podem ser agrupados em um mesmo sub-grupo. O agrupamento por ambiente viabiliza a medição das grandezas referentes ao conforto ambiental, além dos equipamentos individuais (retrofit isolado).

O dimensionamento da amostra, para cada sub-grupo, deve ser feito conforme as Equações (1) e (2). Procede-se com a estratificação dos sub-grupos, com base e nas estimativas de consumo e então para a identificação dos elementos para medição, utilizando o critério de amostragem aleatória sistemática para abranger todo o universo de forma distribuída:

- a. Ordenar e enumerar os ambientes do sub-grupo em ordem crescente da estimativa de consumo. Pode ser utilizada outra variável de referência, desde que seja um fator condicionante para M&V;
- b. Sortear aleatoriamente um número entre 1 e K, sendo K a razão entre a quantidade de elementos no sub-grupo avaliado e a quantidade de elementos da amostra;
- c. Selecionar o elemento de número K como o primeiro a ser medido. Os demais são selecionados a partir do incremento do valor de K.

2.2.3. Equipamentos e Medições

Para medição das grandezas que compõem o Plano proposto, devem ser utilizados os equipamentos apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Relação de grandezas, equipamentos e período de medição utilizados no Plano de M&V - iluminação

Grandeza	Equipamento	Duração da Medição
Potência	Alicate wattímetro	Instantâneo
Tempo de uso	Horímetro	7 dias*
Iluminância	Luxímetro	Instantâneo

* Para horímetro totalizador (sem memória de massa), devem-se levantar os tempos parciais referentes aos dias úteis (nas sextas-feiras) e aos dias do final de semana (nas segundas-feiras).

As medições com memória de massa devem ser realizadas durante intervalo mínimo de 7 dias, avaliado como típico, de forma a representar pelo menos um ciclo semanal, mantendo a proporcionalidade das condições de operação da instalação.

2.2.4. Levantamentos Auxiliares

Nesta perspectiva, devem ser feitos alguns levantamentos auxiliares, para subsidiar a análise:

- Dados históricos de utilização do sistema:

Os dados históricos de utilização do sistema devem ser levantados através de entrevista com o responsável de cada prédio público. Recomenda-se reportar a sazonalidade na forma de variações percentuais de cada ambiente amostrado para o ciclo anual, tendo como base o mês de referência (mês de realização do levantamento).

- Perfil de utilização do sistema na ponta:

Em virtude das limitações dos horímetros disponíveis no mercado, recomenda-se levantar em campo o funcionamento do sistema de iluminação no horário de ponta em cada ambiente, em intervalos de 15 min. Desta forma, viabiliza-se o cálculo do Fator de Coincidência na Ponta (FCP) sem ser necessário adquirir equipamentos importados de custo elevado.

- Áreas dos ambientes amostrados:

As áreas dos ambientes devem ser levantadas em campo, através de medições (sugere-se utilizar trena eletrônica) ou consultas a plantas ou diagramas civis. Esta informação é utilizada na determinação do índice “potência por área” (W/m^2), que deve carregar correlação com a iluminância dos ambientes. Desta forma, pretende-se converter variações do conforto ambiental em parâmetros elétricos que sejam mais facilmente convertidos nos critérios de avaliação do projeto de eficiência energética.

2.2.5. Baseline e Análise das Medições

A análise das medições deve ser feita tanto para o sistema pré quanto para o pós-retrofit. De posse dos seguintes dados, para os ambientes amostrados, prosseguir à análise:

- Potências de iluminação (parâmetro medido);
- Tempo médio de funcionamento durante dias úteis (t_{du}) (parâmetro medido);
- Tempo médio de funcionamento durante finais de semana ou feriados (t_{ff}) (parâmetro medido);
- Iluminância média (parâmetro medido);
- Perfil de utilização do sistema no horário de ponta (levantamento auxiliar);
- Áreas dos ambientes (levantamento auxiliar).

Para obter o FCP e a Demanda na Ponta (DP) do sistema (pré ou pós-retrofit), realizar o seguinte roteiro:

- a. Multiplicar a potência instalada (PI) de iluminação (objeto de retrofit) de cada ambiente pelo percentual de utilização em intervalos de 15 min (vetor reportado pelo “Perfil de utilização do sistema no horário de ponta”);
- b. Somar o produto e obter a demanda do sistema de iluminação no horário de ponta e identificar a máxima demanda na ponta;
- c. Aplicar a Equação (3);

$$FCP = DP_{amostra} / PI_{amostra} \quad (3)$$

d. Considerar a potência média dos ambientes medidos do mesmo estrato e obter a potência instalada total, considerando ambientes amostrados e não amostrados;

e. Aplicar a Equação (4).

$$DP_{total} = FCP.PI_{total} \quad (4)$$

Para obter a Energia Utilizada (EU) do sistema em cada cenário (pré ou pós-retrofit), realizar o seguinte roteiro:

a. Multiplicar a potência instalada de iluminação (objeto de retrofit) de cada ambiente pelos tempos médios de funcionamento e dias correspondentes a cada mês, utilizando a Equação (5);

$$EU_m^i = PI.(t_{du}.d_{du}+t_{ff}.d_{ff}) \quad (5)$$

Onde EU_m^i : energia utilizada média do mês m do ambiente i ; d_{du} : dias úteis no mês m ; d_{ff} : dias de finais de semana ou feriados no mês m .

b. Projetar os valores de energia utilizada média mensal, de cada ambiente, para base anual, aplicando a Equação (6);

$$EU_a^i = ?EU_m^i.TU_m^i \quad (6)$$

c. Considerar a energia utilizada média anual dos ambientes medidos do mesmo estrato e obter a energia utilizada total, considerando ambientes amostrados e não amostrados; e somar todas as energias na base anual.

Para viabilizar a equalização das condições de conforto ambiental, deve-se obter uma regressão linear entre iluminância (eixo das abscissas) e densidade de potência (eixo das ordenadas) de cada ambiente medido, obtendo uma reta na forma da Equação (7). Havendo *outliers* (pontos muito discrepantes), desconsiderá-los da regressão.

$$p = a.IM \quad (7)$$

Onde: p : densidade de potência [W / m^2]; a : coeficiente de inclinação da reta [$W / m^2 \text{ lux}$], representa o fator de crescimento da densidade de potência em razão da iluminância média. Dimensionalmente, equivale à densidade de potência relativa; IM : iluminância média [lux].

Uma vez analisados os dados do pré e pós-retrofit, proceder com a normalização dos cenários quanto aos níveis luminotécnicos. O Fator de Normalização (FN) é dado pela Equação (8):

$$FN = p_{pré_proj} / p_{pré} \quad (8)$$

Sendo: $p_{pré_proj}$: densidade de potência, obtida a partir do modelo do pré-retrofit e da iluminância do pós; $p_{pré}$: densidade de potência, obtida a partir do modelo e da iluminância do pré-retrofit.

2.2.6. Determinação dos Ganhos

Os ganhos de um projeto de eficiência energética de tipologia Poder Público devem ser reportados na forma

de Energia Evitada (EE) e Demanda na Ponta Evitada (DPE). Neste processo, para obter o verdadeiro desempenho energético e não apenas comparações simplificadas de custos diretos, incluem-se ajustes referentes à mudança da iluminância entre o período de referência (baseline) e o período de determinação da economia (pós-retrofit).

Desta forma, as Equações (9) e (10), que descrevem de forma genérica a obtenção dos ganhos, podem ser conduzidas às Equações (11) e (12), respectivamente, nos termos propostos por esta metodologia. Por outro lado, a sazonalidade que deveria estar incluída na forma de ajustes foi incorporada na projeção para a base anual da energia e demanda na ponta utilizadas, em cada cenário.

$$EE = EU_{pré_proj} - EU_{pós} \pm ajustes \quad (9)$$

$$DPE = DP_{pré_proj} - DP_{pós} \pm ajustes \quad (10)$$

$$EE = FN.EU_{pré} - EU_{pós} \quad (11)$$

$$DPE = FN.DP_{pré} - DP_{pós} \quad (12)$$

2.2.7. Determinação das Incertezas

Ao resultado reportado, devem ser incluídos os desvios prováveis em um intervalo de confiança, através da determinação das incertezas individuais, referentes à amostragem, à instrumentação (normalmente na faixa apresentada na Tabela 2) e ao modelo [6].

As grandezas de influência da performance de sistemas luminotécnicos, conforme o plano proposto, são restritas à potência ativa, tempo e iluminância. Todavia, parâmetros como o nível e a qualidade da tensão, a degradação temporal das lâmpadas, e a cobertura de nuvens na região podem influenciar os resultados, mas a relevância da inclusão ainda não foi avaliada neste trabalho.

TABELA 2 – Faixa de incertezas da instrumentação utilizada na verificação da performance de sistemas luminotécnicos

Equipamento	Grandeza	Incerteza	
		Mínima	Máxima
Alicate wattímetro	Potência ativa	±1,0%	±5,0%*
Horímetro	Tempo	< ±0,01%	< ±0,01%**
Luxímetro	Iluminância	±3,0%	±5,0%

* é fundamental avaliar também a resolução dos alicates wattímetros, uma vez que pode ser comparável à ordem de grandeza das potências das lâmpadas.

** para horímetro não invasivo, a incerteza varia significativamente com as condições de instalação, provocada pela influência de outras fontes de iluminação.

2.3. Experiências na Aplicação da Metodologia Inovadora

Aplicação 1: penalização dos ganhos em decorrência de simplificações no projeto

A metodologia proposta para Iluminação foi aplicada a uma Escola de ensino fundamental e técnico com 37

ambientes. A ação de eficiência energética foi restrita ao simples retrofit de lâmpadas fluorescentes tubulares com redução de potência de 40 W para 32 W, além dos reatores respectivos.

Em termos de iluminância, considerando os ambientes amostrados, verificou-se que a média no pré-retrofit é de 111 lux enquanto o pós-retrofit registrou um patamar inferior com média de 87 lux (-21,6%), mesmo com a substituição queimadas e reposição de ausentes, e limitando ainda mais o conforto visual dos usuários, uma vez que a iluminância mínima em uma escola deve se situar em torno de 150 lux, conforme NBR 5413/1992.

Potencializado pela redução dos níveis luminotécnicos, a potência instalada de iluminação do prédio no pós-retrofit foi reduzida a 57% da registrada no pré.

Considerando o cenário do pré-retrofit, verificou-se que a iluminância média de cada ambiente é relacionada com a densidade de potência de forma praticamente linear. Todavia, conforme exposto na Figura 1, a iluminância deve ser tratada como variável de base que, uma vez equalizada (pré e pós-retrofit), ajustam a densidade de potência.

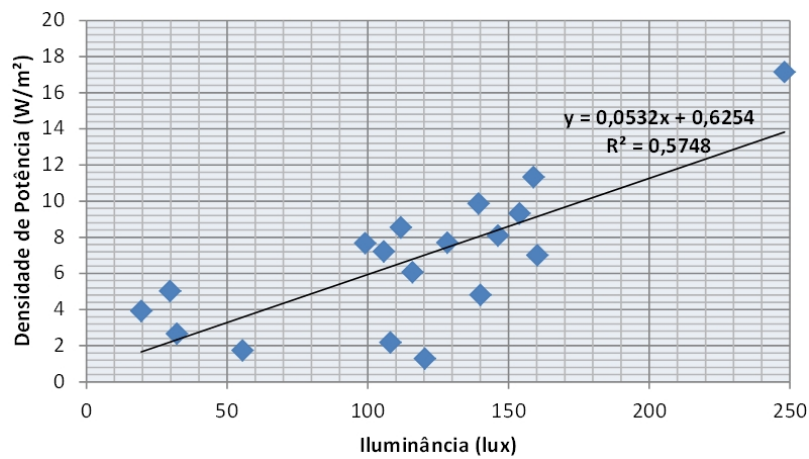


FIGURA 1. Regressão linear entre iluminância e densidade de potência do sistema de iluminação.

Obteve-se Fator de Normalização igual a 0,81, aplicando a Equação (8), e a Energia e Demanda na Ponta Evitadas passam a ser 3,43 MWh e 1,10 kW, contra 6,49 MWh e 2,22 kW, que seria resultado de uma análise incompleta (sem considerar as perdas por redução do conforto visual). A abordagem proposta reduz os ganhos na ordem de 50%, contribuindo para uma avaliação final que potencializa a completude e a precisão dos resultados, por ampliar o foco de análise e ponderar aspectos técnicos e a performance do projeto.

Aplicação 2: potencialização dos ganhos pela reengenharia do sistema de iluminação e melhoria do conforto ambiental

A metodologia proposta para Iluminação também foi aplicada a outra Escola de ensino fundamental com 28 ambientes, em cuja ação de eficiência energética no sistema de iluminação corresponde à Aplicação 1.

A iluminância média no pré-retrofit, considerando os ambientes amostrados, é de 61,4 lux, incrementado para 103,8 lux com a ação de eficiência energética (aumento de 69,0%). Notam-se como as externalidades podem influenciar os resultados de projetos de eficiência energética baseados em simples substituição, apesar da mesma ação de retrofit.

Os ganhos totais do projeto ficaram parcialmente ocultos quando aplicada metodologia que desconsidera medições e equalizações luminotécnicas dos cenários pré e pós-retrofit. Todavia, conforme Figura 2, considerando o cenário do pré-retrofit, a iluminância média de cada ambiente é relacionada com a densidade de potência na forma apresentada.

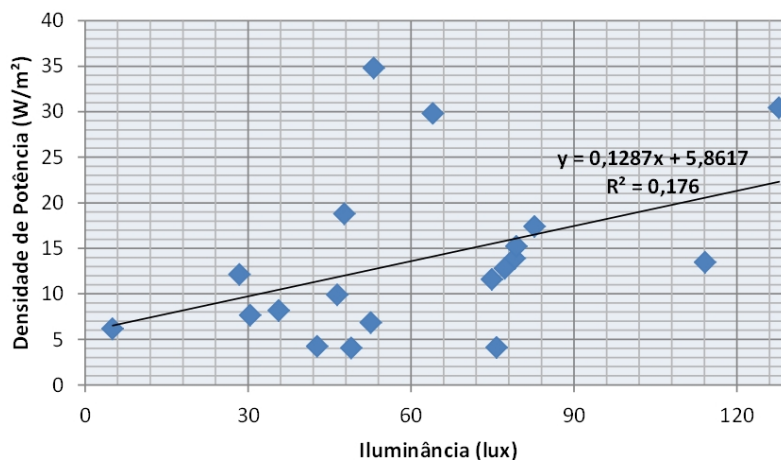


FIGURA 2. Regressão linear entre iluminância e densidade de potência do sistema de iluminação.

Obteve-se Fator de Normalização igual a 1,40, aplicando a Equação (8), e a Energia e Demanda na Ponta Evitadas passam a ser 24,38 MWh e 8,97 kW, contra 14,42 MWh e 5,32 kW que seria resultado de uma análise incompleta (sem considerar as variações do conforto visual). Desta forma, os ganhos relativos à melhoria do conforto visual resultaram da ordem de 70%.

3. Conclusões

Na análise dos parâmetros-chave a serem medidos nos diversos tipos de uso final identificou-se a necessidade de uma melhor representação do tempo de uso do sistema de iluminação. A metodologia corrente indica a medição da potência e a medição ou estimativa do tempo de uso, sendo que usualmente as medições registram cumulativamente o tempo de uso, perdendo-se a informação sobre o fator de coincidência na ponta, fato, em geral justificado pelos custos incorridos, já que os horímetros disponíveis no mercado nacional não são dotados de sistemas de armazenamento de dados (data logger). Constatou-se, que a representação simplificada do tempo de uso pode resultar em erro elevado na estimativa dos benefícios de redução da energia economizada, até mais impactantes do que os erros na medição da potência retirada da ponta.

Tomando-se como premissa de que os projetos de eficiência energética, antes de sua justificativa econômica de curto prazo que se fundamenta em reduções de energia consumida e na retirada de demanda nos horários de ponta, se fundamentam em justificativas sociais de sustentabilidade e de bem estar do cidadão que, em última instância é que paga pelos projetos, entende-se como importante a verificação e representação econômica do alcance das metas de qualidade do projeto. Assim, em projetos de iluminação, por exemplo, entende-se como essencial a representação dos resultados sobre a iluminação na análise pós-retrofit, incluindo rebatimentos econômicos na avaliação dos resultados, seja atribuindo o valor de adequações aos padrões mínimos requeridos, seja pela explicitação com indicadores físicos (iluminância, energia economizada) e econômicos (RCB) de projetos que possam implicar na redução da qualidade do conforto ambiental. Para representar esses impactos foi proposta metodologia que inclui a normalização dos resultados pré e pós-retrofit em relação aos níveis de iluminância.

Em conformidade com as diretrizes de eficiência energética discutidas a nível nacional e pelas próprias

Distribuidoras de Energia Elétrica, espera-se, através da aplicação da metodologia proposta, viabilizar melhores projetos de engenharia, potencializando os benefícios técnicos, ambientais e sociais dos, em contraposição à utilização de retrofit simples.

Uma vez ampliado o limite de análise, que passa a considerar os ganhos provenientes da melhoria do conforto visual, deve-se atentar ao atendimento e à restrição dos benefícios de conforto visual aos valores recomendados na NBR 5413/1992, uma vez que a extrapolação neste sentido não incorpora benefícios aos usuários.

A metodologia proposta é destinada à aplicação na etapa de consolidação dos resultados, uma vez disponíveis dados de medições e levantamentos do pré e do pós-retrofit. A utilização em etapa de diagnóstico energético, a partir apenas de informações preliminares, requer adaptações que serão feitas a posteriori, como continuidade deste trabalho.

Em se tratando de contratos de desempenho, que vem sendo estimulados em busca de melhores resultados, é ainda mais pertinente garantir a completude de abrangência do limite de análise e a precisão e representatividade dos resultados dos projetos. Assim sendo, passa-se a incitar maior flexibilidade e autonomia na execução, mas compromisso com a validação dos Planos de M&V aplicados e com a performance resultante.

Como recomendação e continuidade deste trabalho, serão desenvolvidos modelos para climatização e para outras tipologias de projetos de eficiência energética, no sentido de definir diretrizes-padrão à análise e reporte dos resultados. Espera-se ainda avançar nas metodologias para diagnóstico energético e verificação prévia da viabilidade técnica e econômica, conforme legislação vigente.

4. Referências bibliográficas

- [1] ANEEL. Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética – MPEE. Brasília, 2008;
- [2] FEP/CEAL. Relatório Parcial 03 – Panorama dos Projetos de Eficiência Energética e Opções de M&V nas Distribuidoras Brasileiras. P&D Medição da Qualidade, Densidade e Profundidade dos Resultados dos Projetos de Eficiência Energética. FEP/CEAL, 2011;
- [3] ANEEL Contabiliza Ações de Eficiência Energética. Eletricidade Moderna. Aranda Editora, ano 40, nº 455, fevereiro, 2012;
- [4] ANEEL. Relação de Projetos de Eficiência Energética Cadastrados na ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/Excel/PEE%20Projetos.xls>> Versão de 22/03/11. Acesso em 15/04/11.
- [5] EVO. Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético – PIMVP, 2007;
- [6] ASHRAE. ASHRAE Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings, 2002;
- [7] RETSCREEN. Disponível em: <<http://www.retscreen.net/pt/home.php>>
- [8] FREIRE, I. F. **Medição e Verificação em Eficiência Energética: Metodologia para Determinação do *Baseline***. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, 2001.