*Por Pedro Augustho Biasuz Block, Diogo Biasuz Dahlke, Otavio Mitsuru Shiono e Mateus Duarte Teixeira**

Capítulo VI

Estudos de eficiência energética para indústrias

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Conservação de Energia (Abesco), a eficiência energética, também chamada de uso racional da energia, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Em outras palavras, eficiência energética consiste em consumir uma quantidade menor de energia para realização de uma mesma tarefa.

Um processo de eficientização energética usualmente é realizado por meio da substituição de equipamentos antigos por equipamentos de novas tecnologias com menor consumo energético. Dentro desse tocante, a fim de utilizar sempre equipamentos energeticamente eficientes, é importante observar o programa brasileiro de etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro. Esse programa fornece informações quanto ao desempenho de produtos ao consumidor, principalmente quanto à eficiência energética, classificando-os entre A (mais eficiente) e E (menos eficiente). Adicionalmente, os produtos etiquetados que apresentam o melhor desempenho energético em sua categoria recebem um selo de eficiência energética chamado Selo PROCEL para equipamentos elétricos e Selo Conpet para equipamentos a gás.

Figura 1 – Selos Procel e Conpet.

Ressalta-se que a eficiência energética não consiste somente no ato da substituição de equipamentos. Diversas outras estratégias podem ser utilizadas visando à redução do consumo energético, como a instalação de detectores de presença ou até mesmo projetos de conscientização de usuários e gestão energética.

É importante ressaltar que qualquer Projeto de Eficiência Energética (PEE), independentemente do uso final que está sendo eficientizado, não deve gerar nenhum tipo de prejuízo ao usuário da instalação. Ou seja, deve ser realizado um estudo para garantir que os novos equipamentos propostos atendam aos requisitos operativos daquela instalação sem nenhum tipo de prejuízo ao usuário final. Por exemplo, não se deve substituir um sistema de iluminação que esteja adequado ao usuário por outro com menor nível de iluminação sob o pretexto da eficiência energética.

Um dos maiores desafios dentro do contexto do planejamento e execução de

projetos de eficiência energética consiste na padronização dos projetos, bem como na projeção e verificação da economia obtida. Tal dificuldade justifica-se pela grande diversidade de projetos de eficiência energética possíveis, bem como pelo fato de que a economia total obtida depende também de características da instalação avaliada.

Tendo em vista as dificuldades supracitadas, dois documentos desenvolvidos por especialistas na área são de suma importância para o desenvolvimento de PEEs. São eles:

- Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), elaborado pela *Efficiency Valuation Organization (EVO);*
- Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (Propee), elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

O PIMVP consiste em um protocolo internacional que visa padronizar os procedimentos de medição e verificação da performance de ações de eficiência energética. Tal protocolo será discutido em detalhes ao longo deste documento. Já o Propee consiste em um documento mais abrangente, que visa padronizar a elaboração de PEE, desde a etapa da definição da ação de eficiência energética a ser aplicada determinada instalação até a medição e verificação dos resultados obtidos. Essencialmente, o Propee consiste em um documento dirigido às distribuidoras de energia elétrica para elaboração e execução de PEEs regulados pela Aneel. Apesar de o referido documento ser dirigido a concessionárias, ele se apresenta como um guia de qualidade para quaisquer PEEs, sejam eles regulados pela Aneel ou não.

Ações de eficiência energética

Existe uma variedade muito grande de ações de eficiência energéticas possíveis de serem implementadas, cabendo ao especialista envolvido definir quais são mais benéficas para cada instalação avaliada. Dentro deste contexto, é importante categorizar as principais ações usualmente aplicadas, bem como definir suas principais características.

Iluminação

Devido ao considerável desenvolvimento tecnológico, os sistemas de iluminação atuais possuem um grande potencial de eficientização. Novas tecnologias de lâmpadas, principalmente a tecnologia Led, possuem uma eficiência luminosa muito acima de suas tecnologias antecessoras. A eficiência luminosa de uma lâmpada em lm/W consiste na relação entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência consumida, ou seja, quanto maior a eficiência luminosa, menos energia a lâmpada irá consumir para a emissão de um mesmo fluxo luminoso.

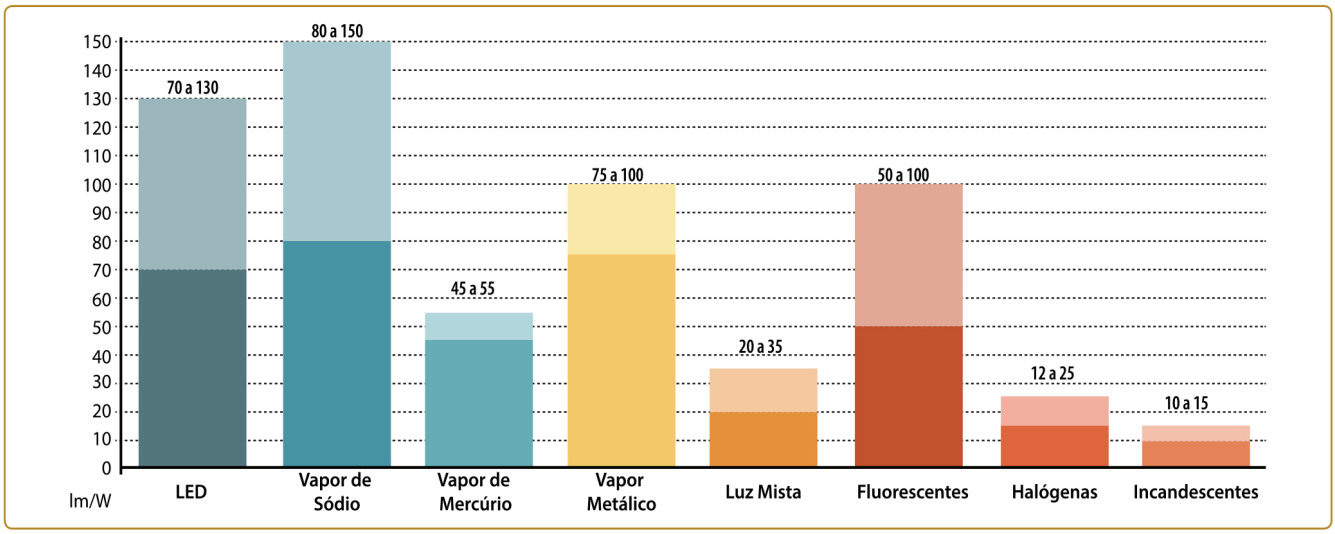

Figura 2 – Transitório oscilatório devido à energização de capacitores.

Um comparativo entre os valores de eficiência luminosa das principais tecnologias utilizadas no mercado é apresentado na Figura 2.

Outro fator relevante para avaliação em projetos de PEE de iluminação consiste na vida útil das lâmpadas, parâmetro este que varia consideravelmente entre tecnologias. Enquanto tecnologias como Led, vapor de sódio e de mercúrio possuem vida útil acima de 20.000 h, tecnologias como fluorescentes (6.000 a 8.000 horas) e incandescentes (750 a 1.000 horas) apresentam valores consideravelmente inferiores.

No entanto, PEEs de iluminação não são realizados somente pela substituição por equipamentos mais eficientes. Existem outras estratégias usualmente abordadas para redução do consumo de sistemas de iluminação, dentre as quais se destacam:

- Instalação de dispositivos de controle: sensores de presença, dimmers, etc.;
- Maior aproveitamento da iluminação natural com redução da carga de iluminação artificial;
- Adequação da instalação elétrica aumentado a divisão dos circuitos;
- Campanhas para o uso consciente.

Uma abordagem para estimar a redução do consumo em sistemas de iluminação é apresentada no Módulo 4 do Propee, que avalia tanto a redução do consumo de energia elétrica como a redução da demanda na ponta. Nessa avaliação, os principais fatores considerados, tanto no sistema atual, quanto no proposto, são a potência (lâmpada + reator), a quantidade, o funcionamento em horas/ano e o FCP (fator de coincidência na ponta).

Ressalta-se que, apesar do grande potencial de redução de consumo de sistemas de iluminação, tais sistemas usualmente não possuem representatividade significativa em plantas industriais, sendo mais relevantes em ambientes comerciais, escritórios, etc.

Condicionamento ambiental

Sistemas de condicionamento ambiental, mais conhecidos como sistemas de ar condicionado, também não possuem grande representatividade no consumo energético de ambientes industriais, visto que usualmente sua aplicação é restrita às áreas administrativas e escritórios. As principais técnicas para eficientização de sistemas de condicionamento ambiental consistem na substituição de equipamentos, sejam eles portáteis ou centralizados.

Em instalações mais antigas, com equipamentos portáteis, usualmente é realizada a substituição de sistemas de ar condicionado do tipo janela por equipamentos do tipo split. Essa substituição gera uma redução considerável no consumo de energia e não necessita de alterações civis robustas, apresentando-se, assim, como alternativa interessante para sistemas de condicionamento ambiental. Já a eficientização de sistemas centralizados, com a utilização de equipamentos do tipo chiller, torres de resfriamento, entre outros, necessita de um estudo detalhado do ciclo de funcionamento do sistema atual e do proposto para avaliação da eficiência energética de ambos os processos. A substituição de equipamentos portáteis por sistemas centralizados, raramente, é viável devido à necessidade de grandes investimentos em obras civis.

A projeção e a verificação da economia de PEEs de condicionamento ambiental requer atenção especial. Isto deve-se ao fato de o consumo energético de um sistema de condicionamento ambiental variar em função da temperatura ambiente no local. Dessa forma, faz-se necessário estimar o consumo de energia com base em uma previsão climática para determinada localidade, fato este que aumenta significativamente a incerteza na estimação.

Sistemas motrizes

Os sistemas motrizes têm grande representatividade no setor industrial, respondendo por uma parcela de, aproximadamente, 70% do consumo com energia elétrica. No decorrer da vida útil de um motor elétrico, em média, apenas 10%

dos custos totais de operação correspondem a aquisição, instalação e manutenção do motor, sendo que os 90% restantes referem-se ao consumo de energia.

No processo de transformação da energia elétrica em mecânica, como em qualquer outro processo de transformação de energia, são intrínsecas as perdas por diferentes motivos, tais como: perdas Joule por aquecimento de enrolamentos, perdas no ferro, perdas mecânicas, entre outras.

Para analisar o desempenho dos sistemas motrizes, é importante o levantamento dos dados de fabricação do equipamento, bem como de informações sobre o histórico do equipamento, como a realização de rebobinagens, que poderá ser contabilizada na depreciação do rendimento do equipamento. A idade do motor e a observação de suas condições de utilização poderão revelar o desgaste dos componentes do equipamento, que, por sua vez, também prejudicam a eficiência do equipamento.

As análises de eficiência podem ter menor ou maior grau de refinamento de acordo com as características do processo a ser avaliado. Em sistemas motrizes com carregamento constante, é mais fácil obter o desempenho do motor com instrumentos de medições simples, como um alicate amperímetro de valor médio quadrático eficaz.

Em alguns casos mais complexos, é importante estar atento também a eventuais variações do processo produtivo que possam impactar no consumo do sistema motriz, como alterações de parâmetros de controle, alterações do tipo de produto fabricado, tipo de matéria prima, temperatura ambiente, etc.

Uma análise mais elaborada poderá ser realizada por meio de analisadores de energia elétrica na qual são registradas características importantes relativas ao funcionamento do motor elétrico como o regime de operação, o tempo de partida, a corrente de pico, entre outros parâmetros de interesse. A Figura 3 ilustra o registro de consumo de um motor elétrico.

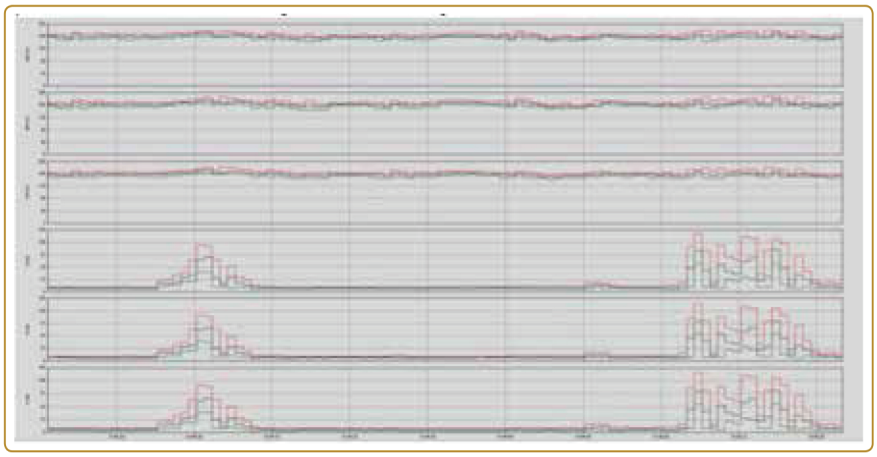

Figura 3 – Registro de consumo de energia.

Este tipo de análise possibilita verificar a correta especificação do motor evitando sobredimensionamento do equipamento. Adequar a potência do motor com a potência exigida pelo processo é um primeiro passo com grande impacto no consumo, uma vez que o rendimento do motor elétrico varia exponencialmente com a potência exigida.

O sobredimensionamento de sistemas motrizes é um dos principais problemas verificado nas indústrias brasileiras, nos mais diferentes segmentos de atuação. Estima-se que o fator de carga (relação entre a demanda média e demanda máxima num determinado intervalo) é, em média, igual a 45%, o que, no contexto industrial, predominantemente com cargas motrizes, indica deduzir a operação abaixo da nominal destes equipamentos. Isso incentiva a realização de programas de eficiência energética que resultem na elevação desse fator.

A evolução tecnológica dos motores elétricos, principalmente no que se refere ao emprego de novos materiais isolantes, aprimoramento dos processos de fabricação e em novos materiais magnéticos, como os ímãs permanentes de terras raras, permitiu a redução da massa dos equipamentos, a operação dos equipamentos em temperaturas superiores, além da melhoria da eficiência.

Nesse contexto, a substituição de motores elétricos antigos por motores de alto rendimento juntamente com a utilização de softstaters/inversores de frequência e a automação dos processos industriais podem muitas das vezes propiciar uma economia significativa do consumo de energia. Também indiretamente podem ser quantificados outros benefícios indiretos, como a modernização dos processos produtivos, maior segurança e melhoria da confiabilidade da planta.

Projetos customizados

Nesse item foram definidas as principais ações de eficiência energética usualmente aplicadas, com destaque à eficientização de sistemas motrizes, bastante representativos dos ambientes elétricos industriais. No entanto, não é possível limitar ações de eficiência energética em algumas poucas categorias. Grande parte dos PEEs em ambientes industriais deve ser realizada de forma customizada, ou seja, o perfil energético do sistema produtivo deve ser cuidadosamente avaliado por um especialista, de forma que seja possível determinar a melhor forma de aproveitamento energético do referido sistema.

Ademais, aplicações não convencionais devem ser consideradas, como sistemas de gestão da eficiência energética e campanhas de conscientização do uso responsável da energia. Um sistema de gestão energética bem elaborado permite ao usuário ter uma avaliação completa do consumo energético de suas instalações, identificando os principais pontos de consumo, bem como as principais oportunidades de eficientização. Outros benefícios de sistemas de gestão

energética consistem na fácil medição e verificação dos resultados das ações de eficiência implementadas.

Ações relacionadas à melhoria da qualidade da energia também podem impactar na redução do consumo de energia de uma planta industrial. Exemplo disso está na aplicação de filtros harmônicos juntos às cargas geradoras de distorções harmônicas. A eliminação de correntes harmônicas próximas à carga pode reduzir o consumo energético de uma planta em até 3%, dependendo do montante de cargas perturbadoras. Harmônicos também são responsáveis pela elevação de temperatura de motores de indução bem como desequilíbrios de tensão. Motores trabalhando acima de sua temperatura nominal de serviço têm sua vida útil drasticamente afetada.

Outra ação que, apesar de não constituir uma ação de eficiência energética em sua concepção, traz benefícios energéticos para as instalações é a utilização da geração distribuída, preferencialmente de fontes renováveis e sistemas de armazenamento de energia. Além do principal benefício ao usuário, a redução no valor da fatura energética, o incentivo à utilização deste tipo de geração traz benefícios ao sistema elétrico, o qual pode operar com menos carregado, reduz perdas, entre outros.

Análise tarifária

A análise tarifária consiste em avaliar o histórico de consumo e da demanda de energia elétrica e identificar qual a melhor modalidade tarifária para uma determinada unidade consumidora obter o menor custo de energia elétrica. Podendo resultar na mudança de modalidade tarifária ou um ajuste na demanda contratada.

As ações de eficiência energética irão reduzir o consumo e a demanda de energia elétrica, o que pode justificar uma redução da demanda contratada. Caso sejam implantadas medidas para melhoria do fator de carga na ponta, a mudança de modalidade tarifária também pode reduzir o custo médio deste insumo.

As unidades consumidoras industriais pertencentes ao grupo A possuem duas opções de modalidade tarifária, a verde e a azul. Uma vez que a modalidade tarifária convencional para o grupo A foi extinta em junho de 2016.

A tarifa verde é indicada para unidades consumidoras que possuam baixo fator de carga no horário de ponta, com limitação na capacidade de modulação em tal posto horário. Diferencia-se da tarifa azul por obter uma única tarifa de demanda de potência independente do horário de utilização sendo composta de Demanda na ponta e fora; Consumo na ponta; Consumo fora da ponta.

A tarifa azul é indicada para unidades consumidoras que possuem fator de carga alto no horário de ponta, com capacidade de modulagem da carga em tal posto horário. A tarifa azul diferencia horários de utilização sendo composta de: demanda na

ponta, demanda fora da ponta, consumo na ponta e consumo fora da ponta.

Uma análise simplificada pode ser realizada comparando o fator de carga na ponta e o fator de carga de equilíbrio entre as tarifas verde e azul, sendo possível obter um indicativo de viabilidade de mudança de modalidade tarifária. Caso o fator de carga na ponta da unidade consumidora for menor que o fator de carga de equilíbrio, então a modalidade tarifária verde é a mais adequada. O fator de carga na ponta para o período um mês pode ser calculado conforme a seguir.

$$FC_p = \frac{D_{pmax}}{65\ C_p}$$

Em que:

D_{Pmax} – Máxima demanda na ponta registrada no período (kW);

C_p – Consumo na ponta no período (kWh).

E o fator de carga de equilíbrio pode ser calculado conforme a seguir.

$$FE = \frac{TD_{pazul}}{65\ (TC_{pverde} - TC_{pazul})}$$

Em que:

TD_{Pazul} – Tarifa da demanda na ponta da modalidade azul (R$/kW);

TC_{Pverde} – Tarifa do consumo na ponta da modalidade verde (R$/kWh);

TC_{Pazul} – Tarifa do consumo na ponta da modalidade azul (R$/kWh).

Medição e Verificação (PIMVP)

Uma gestão energética de qualidade requer que sejam utilizadas recomendações e práticas comuns de medição para que se possa determinar de forma confiável e correta a economia real de energia após a adoção de uma ação de eficiência energética ou mesmo a utilização eficiente dos recursos naturais e da energia final.

Nesse contexto, o Protocolo Internacional de Medição e Verificação (PIMVP), patrocinado pela Efficiency Valuation Organization (EVO), uma organização sem fins lucrativos que conta com a participação de voluntários de todo o mundo, apresenta um documento contendo os termos comumente empregados nos estudos de economia de energia, além dos tópicos relevantes a serem abordados em um plano de M&V.

O objetivo geral é que sejam fornecidas práticas flexíveis para adoção de planos de M&V, mas que seja mantido como premissa o atendimento à precisão, à relevância, à completude, ao conservadorismo, à consistência e à transparência do estudo.

A adoção desse tipo de abordagem além de aumentar a confiança dos empresários, orienta sobre a solução de compromisso entre a precisão das medidas e seu custo, contribui na confecção dos termos do contrato de performance e fornece um método genérico e flexível sobre quais metodologias podem ser criadas e utilizadas.

O PIMVP não deve ser seguido como um tutorial, e o mesmo não abrange detalhamento extensivo sobre o projeto de ações de eficiência energética, sistemas de medição e instrumentação, análise estatística, entre outros detalhamentos. Portanto, é necessário que seja customizada e estudada uma aplicação conforme a necessidade de cada projeto.

Atualmente, a EVO mantém disponíveis três publicações do PIMVP, sendo o primeiro volume referente aos conceitos e opções para a determinação da economia de energia e de água; o segundo volume a questões relativas à qualidade do ambiente interno; e o terceiro volume orientativo, contendo manuais de aplicações referentes ao primeiro volume.

A EVO também oferece um programa para certificação profissional voltado aos profissionais com experiência e formação adequadas, no qual os alunos são avaliados através de exame específico sobre o PIMVP que tem por objetivo verificar a capacidade dos alunos no desenvolvimento e gestão de planos de M&V.

Conclusão

A constante evolução das tecnologias empregadas no setor industrial atrelada à necessidade crescente da utilização dos recursos naturais de maneira sustentável, evitando-se o desperdício, traz à tona uma grande oportunidade de atuação no cenário de otimização energética.

Para tanto, é de fundamental importância ao setor industrial que mais profissionais sejam capacitados, adquiram experiência e sejam inseridos em um processo de aprendizado continuado para lidar com a dinâmica dessas mudanças.

A adoção de atitudes mais conscientes e eficientes propiciará como resultado maior competitividade e produtividade ao setor industrial, além de maior disponibilidade de energia e consequentemente redução de impactos ambientais.

*PEDRO AUGUSTHO BIASUZ BLOCK é graduado em Engenharia Industrial Elétrica, com ênfase em Eletrotécnica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná e atua como pesquisador dos Institutos Lactec. É aluno de mestrado na Universidade Federal do Paraná (UFPR) na área de estabilidade transitório de sistemas.

DIOGO BIASUZ DAHLKE é graduado em Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná e possui mestrado em Sistemas de Potência pela Universidade Federal do Paraná. Atualmente, é pesquisador dos Institutos Lactec, participando de projetos de pesquisa e de consultorias tecnológicas para o setor elétrico.

OTAVIO MITSURU SHIONO é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná. Trabalha como Auxiliar Técnico nos Institutos Lactec, participando de projetos de pesquisa na área de sistemas de aterramento e sistemas elétricos de potência.

MATEUS DUARTE TEIXEIRA é graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela UFSJ, com mestrado em Qualidade de Energia Elétrica pela UFU e Doutorado pela UFPR. É pesquisador dos Institutos Lactec e professor da UFPR. Também ocupa a vice-presidência da Sociedade Brasileira de Qualidade de Energia Elétrica (SBQEE).

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO
Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br