



Efficiency
Valuation
Organization

MEDIÇÃO e VERIFICAÇÃO QUESTÕES e EXEMPLOS

PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIÇÃO E
VERIFICAÇÃO DE *PERFORMANCE*[®]

Fevereiro 2019

EVO 10300 – 1:2019

MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO – QUESTÕES E EXEMPLOS

PROTOCOLO INTERNACIONAL DE
MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE *PERFORMANCE*®

Fevereiro 2019
EVO 10300 – 1:2019

© 2019 Efficiency Valuation Organization (EVO). Todos os direitos reservados. Este documento não pode ser reproduzido ou alterado, no todo ou em parte, seja em papel, digital ou outra forma, sem o consentimento prévio por escrito da EVO.

V1.0

.

Efficiency Valuation Organization (EVO)

A **EVO** é uma organização sem fins lucrativos, cujos produtos e serviços ajudam as pessoas a implementar e investir em projetos de eficiência energética em todo o mundo. A **Visão da EVO** é criar um mundo que tenha confiança na eficiência energética como um recurso energético confiável e sustentável. A **Missão da EVO** é garantir que a economia de energia e o impacto dos projetos de eficiência energética e sustentabilidade sejam medidos e verificados com precisão.

Conselho de Administração da EVO (2019)

Pierre Langlois , Presidente	(Canadá)	Econoler
Neil Salisbury , Vice-Presidente	(Austrália)	Point Advisory
Mark Lister , Secretário	(Dinamarca)	Copenhagen Center on Energy Efficiency
Thomas K. Dreessen , Ex-presidente/Tesoureiro	(EUA)	EPS Capital
Phil Coleman	(EUA)	Lawrence Berkeley National Laboratory
Patty Fong	(Bélgica)	European Climate Foundation
Yamina Saheb	(França)	OpenExp
Laura Van Wie McGrory	(EUA)	Alliance to Save Energy

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação de *Performance* (PIMVP®) é o principal protocolo internacional de medição e verificação mantido pela EVO. É atualizado com a ajuda do Comitê do PIMVP da EVO, um grupo de profissionais do setor que oferecem seu tempo de forma voluntária e com quem temos uma dívida por desenvolver, melhorar e manter os “Conceitos Básicos do PIMVP” e guias para sua aplicação.

Comitê do PIMVP (2019)

Tracy Phillips , Presidente	EUA	Sustainable Real Estate Solutions
Maggie Selig , Vice Presidente	EUA	Siemens Government Technologies
Todd Amundson	EUA	Bonneville Power Administration
Greg Bonser	Canadá	Ontario Independent Electricity System Operator
Jim Bradford	EUA	Mesa Point Energy
Luis Castanheira	Portugal	Energaia
Phil Combs	EUA	Trane
Shankar Earni	EUA	Lawrence Berkeley National Laboratory
Ellen Franconi	EUA	Pacific Northwest National Laboratory
David Jump	EUA	kW Engineering
Sami Khawaja	EUA	Cadmus Group Inc
Bill Koran	EUA	SBW Consulting
David Korn	EUA	Ridgeline Energy Analytics
Ken Lau	Canadá	BC Hydro
Christian Lemieux	Canadá	Econoler
Eric Mazzi	Canadá	Mazzi Consulting
Scott Noyes	Nova Zelândia	iEnergy
Christophe Rodriguez	França	Dalkia Smart Building (Groupe EDF)
Jesse Smith	EUA	Demand Side Analytics
Kevin Warren	EUA	Warren Energy Engineering
Lia Webster	EUA	Facility Energy Solutions
Jim Zarske	EUA	NORESCO

A EVO agradece a tradução para o português do Brasil deste documento, realizada por:

Agenor Garcia	Brasil	E-Volare
José Eduardo Rocha	Brasil	Energy Bi
Fábio Filipini	Brasil	Graphus

Sumário

1. Introdução aos Guias de Aplicação dos “Conceitos Básicos do PIMVP”	1
2. Introdução – Objetivo da M&V e visão geral do processo	3
2.1. Propósitos da M&V	4
2.2. O Processo de conceber e realizar a M&V	6
3. Guia para seleção da Opção de M&V.....	9
4. Questões comuns de M&V.....	11
4.1. Aplicação de preços de energia às economias.....	11
4.2. Ajustes Não de Rotina	13
4.3. Métodos de M&V Avançados.....	15
4.4. O Papel da Incerteza.....	16
4.5. Custo.....	17
4.6. Equilibrar a incerteza e o custo	19
4.7. Revisão por um verificador independente.....	21
4.8. Dados para o comércio de emissões	21
4.9. Condições operacionais mínimas	22
4.10. Dados meteorológicos.....	23
4.11. Padrões mínimos de energia	23
4.12. Questões de medição.....	23
4.13. Erros de coleta de dados e dados perdidos	23
4.14. Uso de sistemas de controle para coleta de dados.....	26
4.15. Dígitos significativos	27
5. Exemplos de aplicação de Medição e Verificação.....	30
5.1. Melhoria da eficiência de motor/bomba: Opção A	31
5.2. Melhoria da eficiência de caldeira: Opção A	33
5.3. Eficiência da iluminação: Opção A	35
5.4. Controle operacional de iluminação: Opção A	39
5.5. Eficiência da iluminação pública e dimerização: Opção B	41
5.6. Gerenciamento de vazamento de ar comprimido: Opção B	43
5.7. Melhoria do conjunto turbina/gerador: Opção B	45

5.8.	Deslocamento de demanda em motor/bomba: Opção B	47
5.9.	Acompanhamento da conta de energia da instalação contra o orçamento: Opção C	48
5.10.	Várias AEEs em um edifício sem medidores de energia no período da linha de base: Opção D	50
5.11.	Novo edifício mais eficiente que o código local: Opção D	53

Lista de Tabelas

Tabela 1. Opções sugeridas (não únicas)	10
Tabela 2. Elementos característicos dos custos de M&V	18
Tabela 3. Tipos de medidores chave.....	25
Tabela 4. Regras de dígitos significativos para operações aritméticas.....	28
Tabela 5. Exemplos de 12 cenários diferentes	30
Tabela 6. Tabela de conversão aproximada de unidades.....	31
Tabela 7. Medição do tempo de uso	36
Tabela 8. Horas operacionais estimadas.....	37
Tabela 9. Preços de consumo de eletricidade	43
Tabela 10. Economia simulada da biblioteca segundo condições normalizadas	52
Tabela 11. Economia no campus	52
Tabela 12. Erros mensais de calibração	54

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama dos Conceitos Básicos do PIMVP e Guias de Aplicação	2
Figura 2. Linha do tempo do processo.....	4
Figura 3. Dois Tipos de Economia	8
Figura 4. Processo de decisão da Opção do PIMVP	9
Figura 5. Desempenho do rotor antigo.....	46

1. Introdução aos Guias de Aplicação dos “Conceitos Básicos do PIMVP”

Os *Conceitos Básicos* do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de *Performance* (PIMVP®) de 2016 definem a terminologia básica usada no campo de Medição e Verificação (M&V) e os procedimentos gerais para se determinar de forma confiável e econômica a economia de energia. A verificação das economias reais é realizada conforme um Plano de M&V, definido para cada projeto. O documento “Conceitos Básicos” é escrito para aplicação geral na medição e verificação do desempenho de projetos que melhoram a eficiência energética ou hídrica em edifícios e plantas industriais.

O Comitê do PIMVP realizou o desenvolvimento e revisão de vários Guias de Aplicação que complementam os “Conceitos Básicos”. Este documento ilustra problemas comuns de M&V que podem surgir durante as atividades de M&V e como eles podem ser abordados, bem como exemplos específicos de aplicações da M&V para vários tipos de projetos e opções de M&V.

Em maio de 2017, o primeiro Guia de Aplicação foi publicado para:

- » **Energias renováveis.** Descreve considerações de M&V em relação aos sistemas de energia renovável. O documento inclui Opções de M&V para sistemas de energia renovável dentro da estrutura do PIMVP e inclui exemplos e recomendações para aplicações específicas. As tecnologias de energia renovável incluem energia solar, eólica, biomassa, geotérmica, pequenas hidrelétricas, térmica oceânica, de ondas e energia das marés.

Em abril de 2018, o seguinte Guia de Aplicação foi publicado para:

- » **Avaliação da Incerteza para o PIMVP.** Descreve métodos para gerenciar e quantificar a incerteza devida a erros aleatórios e sistemáticos que resultam da qualidade dos equipamentos de medição, das técnicas de medição e do procedimento de amostragem.

O atual Guia de Aplicação - **Medição e Verificação - Questões e Exemplos**, publicado em fevereiro de 2019, apresenta uma variedade de tipos de projeto e discute os principais problemas de projetos de M&V decorrentes das situações descritas. Cada exemplo mostra apenas um projeto aderente ao PIMVP, embora existam inúmeras possibilidades construtivas para qualquer projeto. Este guia também aborda questões comuns aos projetos de M&V.

Se você tiver alguma dúvida sobre as informações nestes documentos, entre em contato conosco pelo e-mail evo.central@evo-world.org.

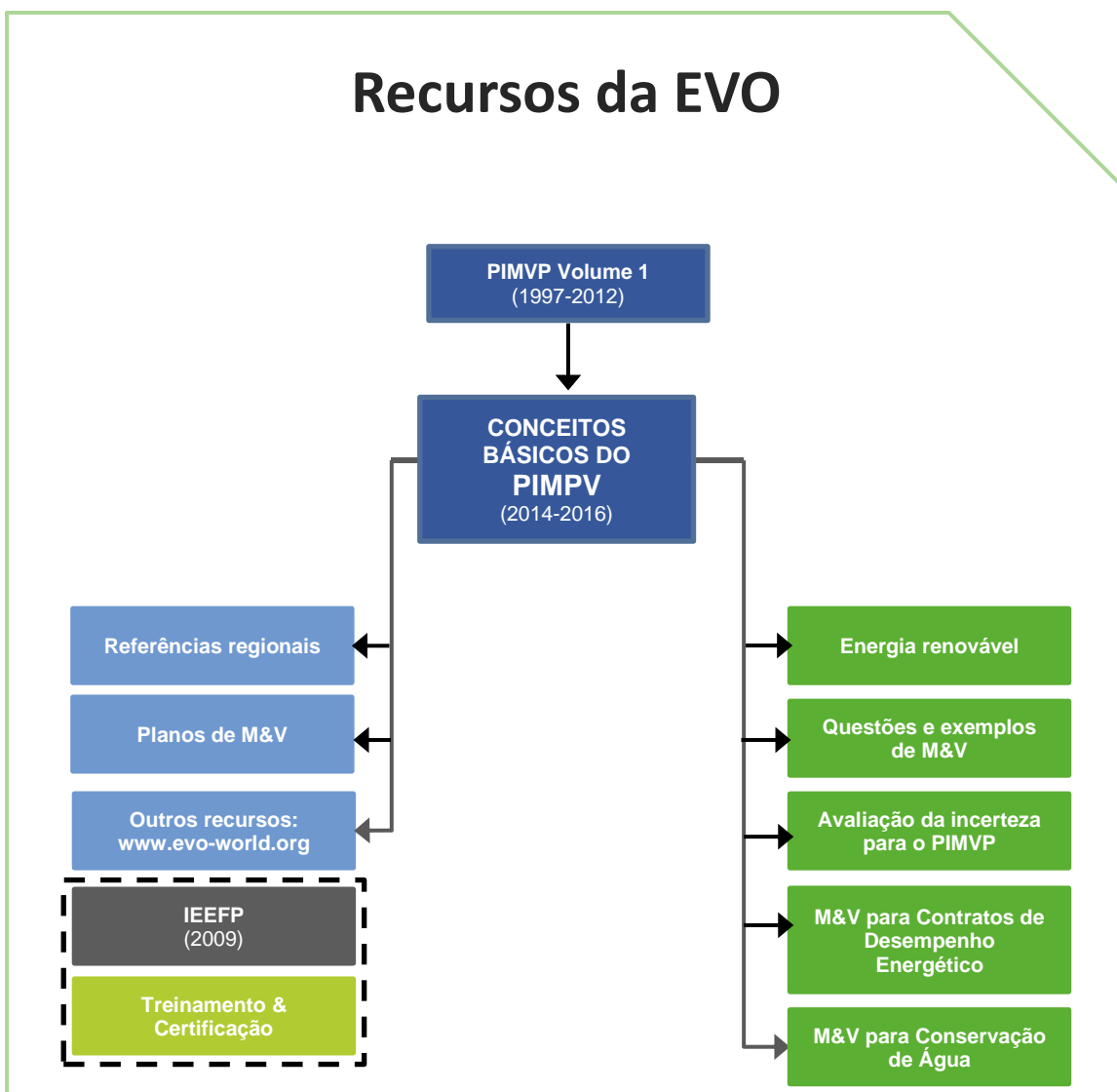


Figura 1. Diagrama dos Conceitos Básicos do PIMVP e Guias de Aplicação

2. Introdução – Objetivo da M&V e visão geral do processo

“*Medição e Verificação*” (M&V) é o processo de utilização de medições para determinar de forma confiável as *economias de energia*¹ criadas em uma instalação individual por um programa de gerenciamento de energia. A economia de energia não pode ser medida diretamente, uma vez que representa a ausência de consumo de energia e demanda. Em vez disso, as *economias* são determinadas comparando o consumo e a demanda medidos antes e depois da implementação de um projeto, fazendo-se os ajustes adequados para mudanças nas condições de utilização.

As atividades de M&V consistem de alguns ou todos os seguintes pontos:

- » Instalação, calibração e manutenção de medidores,
- » coleta e seleção de dados,
- » desenvolvimento de um método de cálculo e estimativas aceitáveis,
- » cálculos com os dados medidos e
- » elaboração de relatórios, procedimentos de garantia de qualidade e verificação por terceiros.

Quando há pouca dúvida sobre o resultado de um projeto, ou não há necessidade de provar resultados para outra parte, aplicar a metodologia de M&V para calcular as economias de energia pode não ser necessário. Mesmo neste caso, é de bom alvitre verificar (inicial e repetidamente) que as instalações implementadas são capazes de produzir as economias esperadas. A verificação do potencial para alcançar as economias de energia projetadas é referida como verificação operacional, que pode envolver inspeção, comissionamento de equipamentos, testes de desempenho funcional e/ou tendência de dados (ver os “Conceitos Básicos do PIMPVP”). A M&V, aderente ao PIMVP, inclui tanto a verificação operacional como o cálculo da economia de energia com base em medições de energia antes e depois da implementação de um projeto e ajustes, conforme descrito acima.

A M&V não é apenas um conjunto de tarefas realizadas para ajudar um projeto a atender aos requisitos do PIMVP. Devidamente integrada, cada tarefa de M&V serve para melhorar a operação da instalação e a manutenção da economia de energia. Como mostrado na Figura 2, as atividades de M&V se sobrepõem a outros esforços do projeto (por exemplo, a coleta de dados serve para identificar ações de eficiência energética – AEEs e para estabelecer linhas de base de energia, o comissionamento e a verificação operacional de AEEs instaladas, a instalação de sistemas de monitoramento para rastrear e manter a economia de energia, etc.). Identificar essas sinergias de projetos e estabelecer funções e responsabilidades das partes envolvidas durante o planejamento do projeto apoiará um esforço

¹ Palavras em itálico têm os significados especiais definidos nos Conceitos Básicos do PIMVP 2016; EVO 10000-1:2016.

coordenado da equipe. Isso poderá gerar escopos complementares e controlar os custos relacionados à M&V.

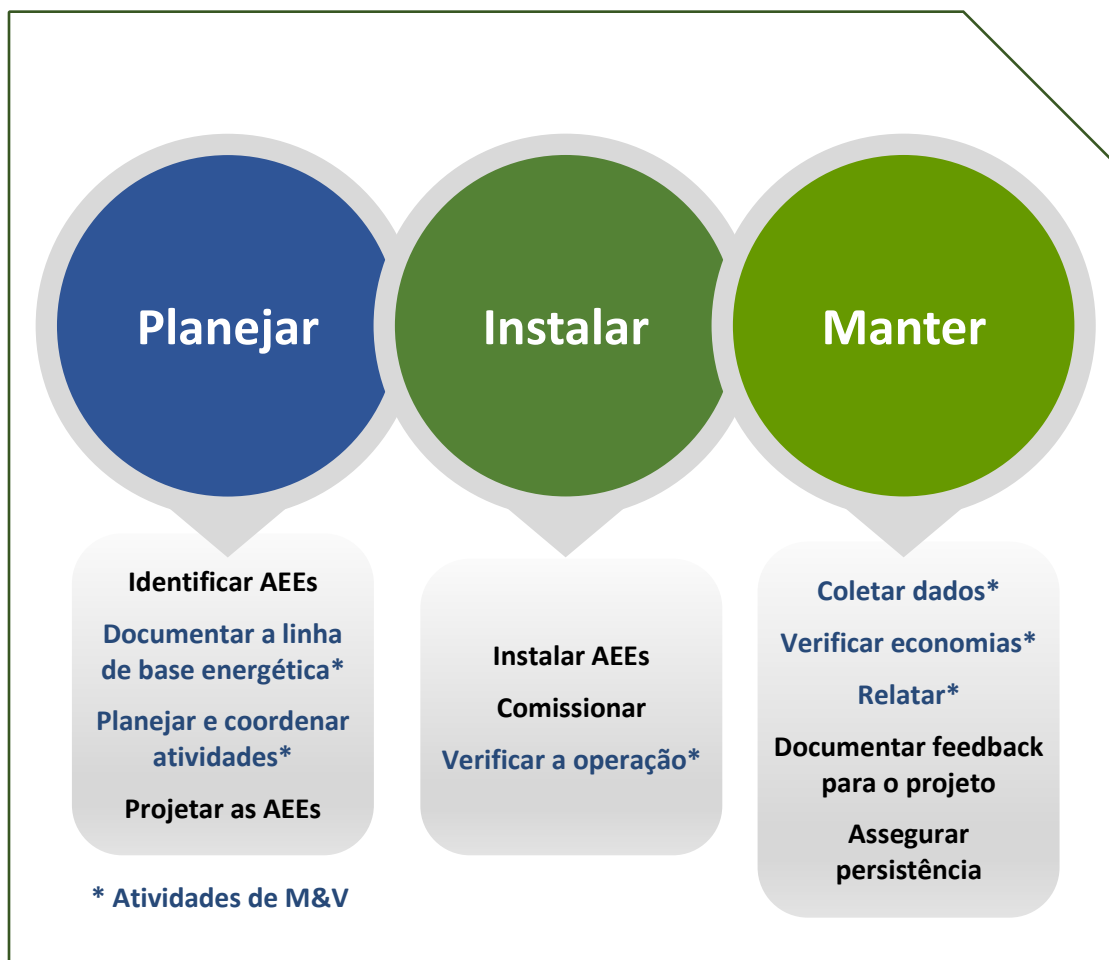


Figura 2. Linha do tempo do processo

2.1. Propósitos da M&V

As técnicas de M&V podem ser usadas por proprietários de instalações ou investidores em projetos de eficiência energética para os seguintes fins:

Aumentar a economia de energia

A determinação precisa da economia de energia dá aos proprietários e gestores de instalações um *feedback* valioso sobre as suas ações de eficiência energética (AEEs). Esse *feedback* os ajuda a ajustar o projeto ou a operação da AEE para melhorar a economia, alcançar maior persistência e menores variações da economia ao longo do tempo.

Documentar as transações financeiras

Para alguns projetos, as economias obtidas por eficiência energética formam a base para pagamentos baseados no desempenho e/ou uma garantia em um contrato de desempenho energético². Um plano de M&V bem definido e implementado pode servir de base para documentar o desempenho de forma transparente e ser submetido a verificação independente.

Melhorar o financiamento para projetos de eficiência energética

Um bom Plano de M&V aumenta a transparência e a credibilidade dos resultados de investimentos em eficiência energética. Também aumenta a credibilidade das projeções para investimentos em eficiência. Esta credibilidade pode aumentar a confiança que os investidores e patrocinadores têm em projetos de eficiência energética, aumentando suas chances de serem financiados.

Melhorar o projeto e a operação e manutenção em instalações

A preparação de um bom Plano de M&V incentiva a consideração de todos os aspectos que influem na obtenção da eficiência energética, aumentando sua abrangência. Também ajuda os gerentes a descobrir e reduzir problemas de manutenção e operação, para que possam administrar as instalações de forma mais eficaz. Um bom Plano de M&V também fornece *feedback* para projetos futuros.

Gerir o orçamento de energia

Mesmo quando as economias não são planejadas, as técnicas de M&V ajudam os gerentes a avaliar e gerenciar o consumo e a demanda de energia para explicar as variações no orçamento. As técnicas de M&V são usadas para ajustar as condições de operação de instalações a mudanças, a fim de definir orçamentos adequados e contabilizar as variações orçamentárias.

Aumentar o valor dos créditos de redução de emissões

A contabilização das reduções de emissões proporciona valor adicional aos projetos de eficiência. O uso de um Plano de M&V para determinar a economia de energia melhora os relatórios de redução de emissões em comparação com relatórios sem plano de M&V.

Apoiar a avaliação de programas de eficiência regionais

Programas de concessionárias públicas de energia ou governamentais para gerenciar o uso de um sistema de fornecimento de energia podem usar técnicas de M&V para avaliar a economia em instalações de usuários de energia selecionadas. Usando técnicas estatísticas e outros pressupostos, as economias determinadas pelas atividades de M&V em instalações individuais selecionadas podem ajudar a prever economias em locais não medidos, a fim de avaliar o desempenho de todo o programa.

² Contrato de desempenho energético (CDE), muitas vezes chamado de Contrato de *Performance* Energética (CPE), é um contrato de implantação de eficiência energética, onde a remuneração do investimento é feita com a economia obtida na compra de energia (NT).

Aumentar a compreensão do público sobre a gestão da energia como instrumento de política pública

Ao melhorar a credibilidade dos projetos de gestão de energia, a M&V aumenta a aceitação pública da redução de emissões relacionadas. Essa aceitação pública incentiva o investimento em projetos de eficiência energética ou em créditos de emissão que eles podem criar. Ao melhorar a economia, uma boa prática de M&V destaca os benefícios públicos proporcionados pela boa gestão energética, como a melhoria da saúde da comunidade, a redução da degradação ambiental e o aumento do emprego.

2.2. O Processo de conceber e realizar a M&V

O processo de concepção e realização da M&V é paralelo ao processo de concepção e implementação da AEE. Os processos de M&V devem envolver as seguintes etapas:

Etapa 1

Considerar as necessidades do usuário dos resultados da M&V. Se o usuário estiver focado no controle geral de custos, os métodos de toda a instalação podem ser mais adequados. Se o foco do usuário estiver em AEEs específicas, as técnicas de isolamento da AEE podem ser mais adequadas (ver os “Conceitos Básicos do PIMVP”, seções 6.2 a 6.6).

Etapa 2

Ao desenvolver a AEE(s), selecionar a opção do PIMVP (ver os “Conceitos Básicos”, Seção 6) que melhor se adapte à(s) AEE(s), às necessidades de precisão e ao orçamento de M&V. Decidir se o ajuste dos consumos de energia será feito às condições do período de determinação da economia ou a algum outro conjunto de condições (ver os “Conceitos Básicos”, Seção 5.3 e a Figura 3 abaixo). Definir a duração do período da linha de base e o período de determinação da economia (ver os “Conceitos Básicos”, Seção 5.2). Estas decisões fundamentais podem ser feitas nos termos de um contrato de desempenho energético.

Etapa 3

Coletar dados relevantes de energia e condições operacionais do período da linha de base e guardá-los de uma forma que possa ser acessada no futuro.

Dados da linha de base – Exemplos

- » O consumo e a demanda de energia de uma instalação podem ser significativamente afetados pelas condições meteorológicas. Normalmente, um ano inteiro de dados mensais é necessário para definir um ciclo operacional completo. Se dados em intervalos menores (horários ou diários) forem usados, um ciclo operacional completo pode ser capturado em menos de um ano.
- » O consumo de energia e a demanda de um sistema de ar comprimido podem ser regidos apenas pelos níveis de produção da planta, que variam em um ciclo semanal. Assim, os dados de uma semana podem ser tudo o que é necessário para definir o desempenho da linha de base.

Etapa 4

Preparar um Plano de M&V (ver os “Conceitos Básicos do PIMVP”, Seção 7.1) contendo os resultados das etapas 1 a 3 acima. O Plano deve também definir as etapas subsequentes, de 5 a 9.

Etapa 5

Como parte do projeto e instalação finais da AEE, também projetar, calibrar, instalar, e comissionar qualquer instrumento especial de medição que seja necessário no âmbito do Plano de M&V.

Etapa 6

Após a instalação da AEE, certificar-se de que tem o potencial de realizar e alcançar as economias, por meio da realização de verificação operacional. Isso pode incluir a inspeção do equipamento instalado e a revisão dos procedimentos operacionais, conforme necessário, para estar em conformidade com a intenção de projeto da AEE. Esse requisito pode ser cumprido por um processo formal de comissionamento como parte do projeto.

Etapa 7

Coletar dados de energia e condições operacionais do período de determinação da economia, conforme definido no Plano de M&V.

Etapa 8

Calcular as economias de energia e monetária de acordo com o Plano de M&V.

Etapa 9

Elaborar o Relatório de M&V de acordo com o previsto no Plano de M&V.

As etapas de 7 a 9 podem se repetir periodicamente quando relatórios de M&V são necessários.

Um terceiro pode verificar se o Plano de M&V adere ao PIMVP e, possivelmente, a um contrato de desempenho. Este terceiro pode verificar se os Relatórios de M&V estão em conformidade com o Plano

de M&V aprovado. A frequência e o formato desses Relatórios de M&V também serão incluídos no Plano de M&V. A verificação das economias pode ser realizada por uma parte independente ou pelo desenvolvedor do projeto, desde que a supervisão de garantia de qualidade seja realizada por uma pessoa qualificada.

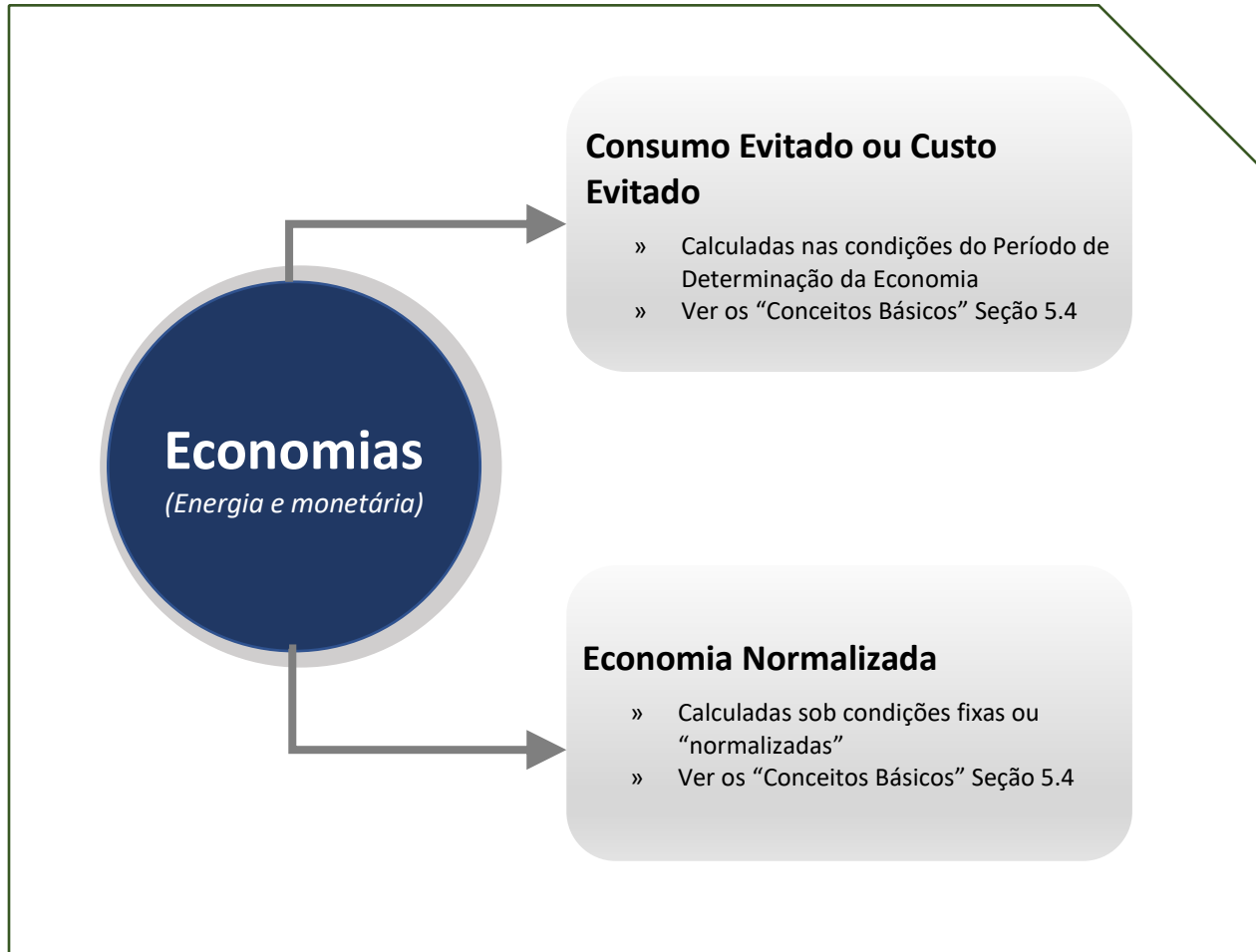


Figura 3. Dois Tipos de Economia

3. Guia para seleção da Opção de M&V

A seleção de uma Opção do PIMVP é uma decisão que é tomada pelo responsável pela M&V para cada projeto, com base no conjunto completo de condições do projeto, análise, orçamentos e julgamento profissional.

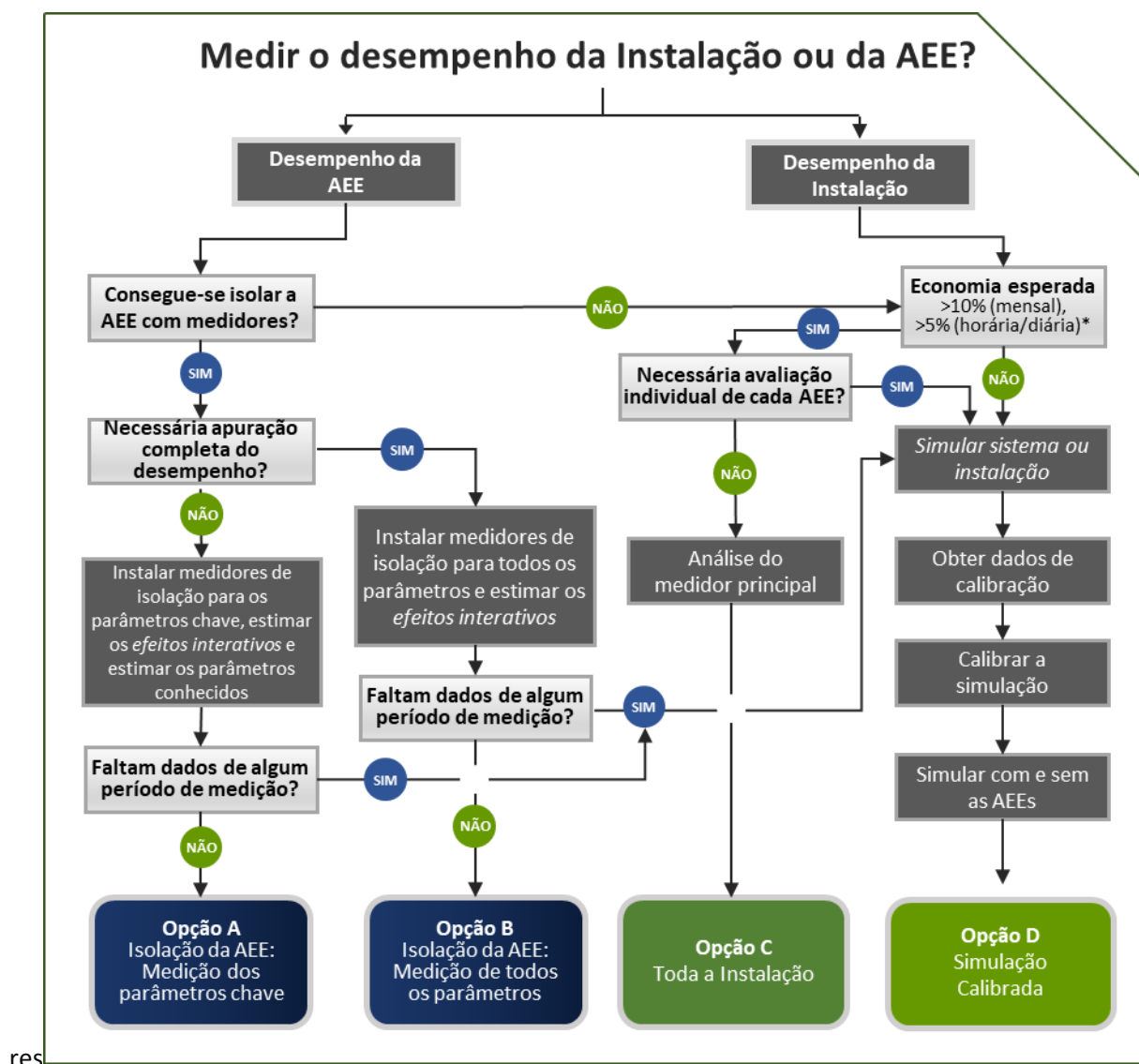


Figura 4. Processo de decisão da Opção do PIMVP

*Nota: Estimar a incerteza da economia é complexo e depende de como "bem-comportado" um edifício é, da dispersão resultante nos dados, o número de pontos que estão sendo modelados e o intervalo de tempo entre os pontos. Os valores de economia esperados aqui devem ser considerados orientação - não são requisitos nem prova de suficiência de um modelo. Eles sugerem que, para a *maioria* dos edifícios, a relação

sinal-para-ruído será suficientemente elevada se as percentagens de economia são maiores do que as regras básicas indicadas na figura, e, portanto, as economias podem ser estimadas de forma confiável usando dados do medidor da concessionária.

É impossível generalizar sobre a melhor opção do PIMVP para qualquer tipo de situação. No entanto, algumas características-chave do projeto sugerem opções comumente favorecidas, como mostrado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Opções sugeridas (não únicas)

Característica de projeto da AEE	Opções sugeridas			
	A	B	C	D
Necessário estimar as AEEs individualmente	✗	✗		✗
Necessário avaliar somente o desempenho total da instalação			✗	✗
Economia esperada menor que 10% (medições mensais) ou 5% (medições diárias ou horárias) do consumo anual da linha de base	✗	✗		✗
A importância de algumas variáveis de influência na energia não está clara		✗	✗	✗
Os efeitos interativos das AEEs são importantes ou não podem ser medidos			✗	✗
Muitas mudanças futuras esperadas dentro da fronteira de medição	✗			✗
Necessária avaliação de longo prazo do desempenho	✗		✗	
Dados da linha de base não disponíveis				✗
Etc.				

Efeitos interativos – Exemplo

Para uma AEE que reduz a potência da iluminação, a fronteira de medição deve incluir a potência das luminárias. No entanto, a redução da energia de iluminação também pode reduzir os requisitos de resfriamento e/ou aumentar os requisitos de aquecimento. Esse fluxo de energia de aquecimento e resfriamento atribuível à iluminação geralmente não pode ser facilmente medido. Ele representa os efeitos interativos que devem ser estimados, em vez de incluídos dentro da fronteira de medição.

4. Questões comuns de M&V

Além da estrutura básica descrita nos “Conceitos Básicos do PIMVP”, há uma série de questões que geralmente surgem independentemente da opção PIMVP escolhida. Cada uma dessas questões é discutida nesta seção.

4.1. Aplicação de preços de energia às economias

As *economias* monetárias são determinadas aplicando a estrutura de preços de energia apropriada à seguinte equação:

Equação 1

$$\text{Economia monetária} = C_{lb} - C_{de}$$

Onde:

C_{lb} = Custo da energia da linha de base com ajustes

C_{de} = Custo da energia do período de determinação da economia com ajustes (se aplicável)

Os custos devem ser determinados aplicando-se a mesma estrutura de preços no cálculo de C_{lb} e C_{de} .

Nota: Se a economia de custos for calculada diretamente da economia em unidades de energia, veja a Seção 4.5 abaixo a respeito da utilização de preços marginais apropriados.

Quando as condições do período de determinação da economia são utilizadas como base para calcular a economia de energia (ou seja, consumo e demanda evitados), a tabela de preços do período de determinação é normalmente usada para calcular "o custo evitado". Para um contrato de desempenho onde há uma economia de energia garantida e as economias monetárias associadas são usadas para determinar os pagamentos ao executante, deve ser tomado um cuidado especial na aplicação dos preços da energia. Se o desempenho da AEE estiver focado na economia de energia e na redução da demanda e o executante não estiver assumindo qualquer risco na garantia dos preços da energia durante o período de determinação da economia, então os preços da energia devem ser definidos no plano de M&V do contrato e acordados entre o proprietário e o executante. Estes preços da energia contratualmente definidos seriam então utilizados em vez dos preços reais do período de determinação, para evitar a situação em que a economia monetária cumpra a garantia devido a preços reais de energia mais elevados do que o previsto, enquanto as economias de energia no consumo e na demanda não cumprem a garantia de desempenho. Isto poderia aumentar o risco (para o proprietário) do projeto não atingir a garantia do desempenho da energia no consumo e na demanda, mas ainda assim atingir a economia monetária

(devido a um fator fora do controle do executante, enquanto o proprietário estaria sujeito a preços de energia mais elevados).

Exemplos da aplicação dos preços da energia estão contidos nos exemplos abaixo neste Guia de Aplicação.

4.1.1. Estrutura de preços

A estrutura de preços deve ser obtida do fornecedor de energia. Essa estrutura de preços deve incluir todos os elementos afetados pelos valores medidos como encargos de consumo, encargos de demanda, perdas em transformadores, fator de potência, ajustes de demanda, ajustes de preços de combustível, descontos por pagamento antecipado e impostos.

A estrutura de preços pode mudar em dias diferentes das datas de leitura do medidor. Portanto, C_{lb} e C_{de} na [Equação 1](#) devem ser computados por períodos exatamente alinhados com as datas de alteração de preço. Esse alinhamento pode exigir uma alocação estimada de consumo (e demanda) para períodos antes e depois da data de alteração de preço. A metodologia de alocação deve ser a mesma utilizada pelo fornecedor de energia.

A estrutura de preços selecionada pode ser fixada ou alterada à medida que os preços mudam (o aumento dos preços encurtará o período de retorno financeiro da AEE e a diminuição dos preços prolongará o período de retorno, embora os custos totais de energia caiam quando os preços caírem). Quando um terceiro investiu em uma instalação e/ou os pagamentos são baseados em economias verificadas tais como em um contrato de desempenho, a estrutura de preços adotada é normalmente a vigente na data de comprometimento do investimento (ou na assinatura do contrato) e normalmente não se permite que os preços fiquem abaixo desta, com o objetivo de determinar que o custo da economia de energia verificada atenda a garantia monetária, dando suporte aos pagamentos.

Além disso, a determinação e a estipulação de uma taxa de correção anual a aplicar à estrutura de preços base (para refletir os preços máximos do período de determinação da economia projetado) para cada ano do período de determinação da economia é acordada para determinar custos de economias contratuais ou de investimento. Existem ferramentas da indústria disponíveis para ajudar com as previsões de escalada de preços de energia, no entanto, elas variam com o projeto e o local da instalação, devendo ser cuidadosamente determinadas e acordadas no Plano de M&V contratado, antes da implementação do projeto. Para contratos de desempenho, os preços definidos da energia tornam-se os preços do contrato e as taxas reais durante o período de determinação são apenas informativas (elas podem ser usadas para ilustrar a economia monetária, mas a economia monetária verificada para provar a garantia é calculada usando os preços de energia do contrato).

4.1.2. Preço marginal

Um procedimento alternativo para a valoração da economia de energia envolve a multiplicação de unidades energéticas economizadas pelo preço marginal da energia. Deve-se ter cuidado para garantir que o preço marginal seja válido para o nível de consumo e demanda dos períodos de base e de determinação da economia. O conceito de estabelecer preços base e taxas de correção associadas ao período de determinação, como discutido acima, também se aplica aos procedimentos para o preço

marginal, bem como à utilização da estrutura de preços na determinação do preço marginal adequado para a avaliação da projeção da economia (específica de cada projeto).

Os preços médios, ou ponderados, determinados dividindo o custo pelo consumo faturados, são geralmente diferentes dos preços marginais. Em geral, os preços médios criam demonstrações imprecisas de redução de custos e não devem ser usados.

4.1.3. Mudanças de combustível e na estrutura de preços

A estratégia geral da Seção 4.1 de aplicar a mesma estrutura de preços à energia do período da linha de base e determinação da economia introduz algumas considerações especiais quando a AEE cria uma mudança no tipo de combustível ou uma alteração na estrutura de preços entre os períodos da linha de base e de determinação da economia. Tais situações surgem, por exemplo, quando uma AEE inclui uma alteração para um combustível de custo mais baixo ou desloca o padrão de consumo e/ou demanda de energia de tal forma que a instalação se qualifica para uma estrutura de preços diferente.

Em tais situações, deve-se usar a estrutura de preços do energético da linha de base para determinar C_{lb} na [Equação 1](#). A estrutura de preços do energético do período de determinação deve ser usada na determinação de C_{de} . No entanto, ambas as estruturas de preço dos energéticos seriam para o mesmo período de tempo, geralmente o período de determinação da economia.

Por exemplo, a fonte de aquecimento é alterada de eletricidade para gás, e se pretende usar os preços do período de determinação. Neste caso, C_{lb} usaria a estrutura de preço de eletricidade do período de determinação para toda a eletricidade. C_{de} usaria a estrutura de preços do gás do período de determinação, para a nova carga de gás, e a estrutura de preços de eletricidade do período de determinação para qualquer consumo restante de eletricidade.

No entanto, este tratamento de uma alteração intencional da estrutura de preços não se aplica se a alteração não fez parte da AEE. Por exemplo, se a concessionária alterou suas estruturas de preços sem motivo relacionado à implementação da AEE, o princípio geral da Seção 4.1 de usar a mesma estrutura de preços para C_{lb} e C_{de} ainda se aplica.

4.2. Ajustes Não de Rotina

As condições de uso da energia, que variam de forma previsível e são significativas para o consumo de energia e/ou a demanda dentro da fronteira de medição são normalmente incluídas no modelo matemático usado para ajustes de rotina, descritos na Seção 5.3 dos “Conceitos Básicos do PIMVP”. Quando ocorrem alterações inesperadas em condições (incluindo operações atípicas) que são de outra forma estáticas (fatores estáticos), dentro da fronteira de medição, os ajustes não de rotina devem ser feitos.

Ajustes não de rotina são necessários quando ocorre uma alteração em equipamentos ou operações dentro da fronteira de medição. Tal mudança ocorre em um fator estático, não em variáveis

independentes. Por exemplo, uma AEE melhorou a eficiência de um grande número de luminárias. Quando mais luminárias foram instaladas, após a instalação da AEE, um ajuste não de rotina foi feito. A energia estimada dos dispositivos elétricos extra foi adicionada à energia da linha de base de modo que a economia da AEE fosse calculada corretamente.

Os valores estimados para uso na Opção A do PIMVP geralmente são escolhidos para eliminar a necessidade de ajustes quando as alterações acontecem dentro da fronteira de medição (veja a Seção 5.1 dos “Conceitos Básicos do PIMVP”). Portanto, ajustes não de rotina podem ser evitados usando a Opção A. Por exemplo, a carga de resfriamento de uma planta de refrigeração foi estimada em vez de medida para determinar as economias da Opção A criadas por uma AEE de eficiência de refrigeração. Após a AEE, a instalação aumentou a carga de refrigeração real dentro da fronteira de medição. No entanto, uma vez que a Opção A foi escolhida usando uma carga de resfriamento fixa, as economias relatadas permanecem inalteradas. O uso da Opção A evitou a necessidade de um ajuste não de rotina.

As condições da linha de base precisam ser totalmente documentadas no Plano de M&V para que mudanças nos fatores estáticos possam ser identificadas e ajustes não de rotina adequados feitos. É importante ter um método de rastreamento e relatórios de alterações nesses mesmos fatores estáticos. Este rastreamento de condições pode ser realizado pelo proprietário da instalação, o agente da AEE (ESCO) ou um terceiro (ou uma combinação deles). Deve ser estabelecido no Plano de M&V quem rastreará e relatará cada fator estático. Onde a natureza das mudanças futuras puder ser antecipada, os métodos para fazer os ajustes não de rotina relevantes devem ser incluídos no Plano de M&V.

Os ajustes não de rotina são determinados a partir de alterações físicas reais ou assumidas na instalação, equipamentos ou operações (fatores estáticos). Usar medições para quantificar os impactos dos ajustes não de rotina deve ser considerado sempre que possível. Às vezes, pode ser difícil quantificar o impacto das mudanças, por exemplo, se elas são numerosas ou não bem documentadas. A indústria de M&V está avançando rapidamente com o desenvolvimento de ferramentas avançadas baseadas em análise de dados (às vezes referidas como M&V 2.0 ou M&V avançada), o que poderia afetar o rastreamento e a quantificação de ajustes não de rotina no futuro.

Fatores estáticos

Exemplos de alterações em fatores estáticos que exigem ajustes não de rotina são mudanças em:

- » área do espaço aquecido ou com ar condicionado,
- » tipo de produto ou número de turnos de produção por dia,
- » características da envoltória de prédios (nova isolamento, janelas, portas, contenção do ar),
- » quantidade, tipo ou uso dos equipamentos,
- » normas ambientais (por exemplo, nível de iluminação, temperatura, taxa de ventilação),
- » tipo ou programação de ocupação.

4.3. Métodos de M&V Avançados

É prática comum do setor verificar a economia de projetos de eficiência ao final do período de determinação da economia. O M&V avançado, às vezes referido como M&V 2.0, melhora os métodos passados, permitindo que as economias sejam rastreadas em uma base contínua. Esses métodos de M&V combinam o uso de dados de energia em intervalos de tempo mais curtos (normalmente dados diários, horários ou frações horárias obtidos dos medidores de entrada da concessionária) com análise avançada. A abordagem aumenta a resolução da economia, acelera a avaliação da economia e permite a avaliação contínua do desempenho energético. Isso possibilita a detecção precoce de mudanças de desempenho e fornece ideias de ação para minimizar falhas de desempenho. E, talvez o mais importante, ela permite que as abordagens da Opção C sejam aplicadas com credibilidade para economias muito menores do que é razoável com dados de faturamento mensal.

O aumento da prevalência de medidores de entrada da concessionária avançados, a amplitude de dados de sistemas de gerenciamento de energia, a capacidade de computação barata e o desenvolvimento de metodologias abrangentes de análise de dados estão estimulando o avanço dos métodos de M&V. Os impulsionadores do mercado incluem eficiência energética e legislação com respeito a mudanças climáticas, como o SB 350/AB 802 da Califórnia, que exige que as concessionárias usem dados de energia para determinar ou "medir" a economia de energia. As necessidades do mercado estão sendo atendidas com ferramentas de *software* recém-emergentes que incorporam a análise avançada e os métodos de M&V, que têm o potencial de automatizar a análise de M&V, agilizar processos e reduzir os custos associados, mantendo ou melhorando a precisão.

Esses novos desenvolvimentos afetam diretamente a aplicação da Opção C do PIMVP de toda a instalação. O uso de dados de medidores em intervalos curtos com a Opção C normalmente envolve a criação de uma série de modelos de regressão multivariável para prever o consumo de energia de toda a instalação. A orientação do PIMVP para a M&V avançada está em desenvolvimento para abordar questões de sua aplicação, tais como: seleção de intervalos de dados e agrupamentos; considerações sobre variáveis independentes; aplicação de modelos de regressão; determinar a incerteza da economia; e testar a precisão do *software* de informação de energia (EIS) para M&V. Atualmente, algumas informações sobre modelos empíricos usando dados de toda a instalação estão disponíveis através da *California Commissioning Collaborative*³.

A disponibilidade de dados de medidores em intervalos curtos e análises relacionadas também pode influenciar a implementação de outros métodos de M&V além da Opção C. Os métodos analíticos podem ser aplicados para intervalo de dados coletados de subsistemas numa abordagem de Opção B. Os dados do medidor de energia em intervalos curtos podem confirmar os padrões de uso nas aplicações da Opção A ou B e fornecer uma base para a calibração dos modelos de simulação usados na Opção D.

³ A *California Commissioning Collaborative* é uma organização sem fins lucrativos que visa melhorar o processo de comissionamento de edifícios. Há várias ferramentas interessantes na página da internet (NT). Ver <http://www.cacx.org/resources/vos-guidelines/> para *Guidelines for Verifying Savings from Commissioning Existing Buildings* (Guias para Verificação de economias de energia por comissionamento de edifícios existentes).

4.4. O Papel da Incerteza

A medição de qualquer quantidade física inclui erros porque nenhum instrumento de medição é 100% preciso. A estimativa da economia é incerta porque a economia de energia representa a ausência de uso de energia e não pode ser medida, apenas estimada. Erros são as diferenças entre o consumo de energia e demanda observados e verdadeiros. Em um processo de determinação da economia de energia, os erros impedem a determinação exata da economia.

A Equação 1 dos “Conceitos Básicos do PIMVP” geralmente envolve pelo menos dois erros de medição (linha de base e período de determinação da economia), e qualquer erro que exista nos ajustes calculados. Para garantir que a incerteza resultante na estimativa de economia seja aceitável para os usuários de um relatório de economia de energia, deve-se certificar de gerenciar os erros inerentes à medição e análise ao desenvolver e implementar o Plano de M&V.

As características de um processo de determinação da economia que devem ser cuidadosamente revistas para gerir a incerteza são:

- » **Instrumentação** - erros de equipamento de medição são devidos à calibração, medição inexata ou seleção imprópria da instalação ou operação do medidor.
- » **Modelagem** - a incapacidade de encontrar formas matemáticas que representem plenamente todas as variações no consumo de energia e demanda. Erros de modelagem podem ser devidos a forma funcional inadequada, a inclusão de variáveis irrelevantes ou a exclusão de variáveis relevantes. A incerteza do modelo deve-se à dispersão nos dados além do que é caracterizado por variáveis independentes apropriadas.
- » **Amostragem** - o uso de uma amostra da população completa de itens ou eventos para representar toda a população introduz erro como resultado da variação de valores dentro da população, ou amostragem tendenciosa. A amostragem⁴ pode ser realizada em um sentido físico (ou seja, apenas x número de luminárias são medidas) ou em sentido temporal (medição instantânea apenas uma vez por hora).
- » **Efeitos interativos** (além da fronteira de medição) que não estão totalmente incluídos na metodologia de cálculo da economia.
- » **Estimativa de parâmetros usando a Opção A, em vez de medição** – pode-se minimizar a variação entre o valor estimado do parâmetro e seu verdadeiro valor através de uma revisão cuidadosa do projeto da AEE, estimativa cuidadosa do parâmetro e inspeção cuidadosa da AEE após a instalação.

Os métodos de quantificação, avaliação e redução de algumas dessas incertezas são discutidos na *Avaliação de Incertezas para o PIMVP - EVO 10100-1:2018*. Essas ferramentas de quantificação devem ser usadas para desenvolver o Plano de M&V, a fim de testar a incerteza inerente associada às características opcionais do projeto de M&V.

⁴ Conforme usado neste Protocolo, a amostragem não se refere a procedimentos estatísticos rigorosos, mas às melhores práticas abordadas na *Avaliação de Incerteza do PIMVP 10100-1:2018*

Deve-se estabelecer a incerteza aceitável da economia pelos usuários durante o processo de planejamento de M&V. A Seção 4.6 discute algumas questões no estabelecimento do nível correto de incerteza para qualquer AEE ou projeto. A *Avaliação de Incerteza para PIMVP EVO 10100-1:2018* define os valores mínimos da economia, em relação às variações estatísticas nos dados da linha de base, para que os cálculos de M&V sejam válidos.

A precisão de qualquer valor medido é devidamente expressa como o intervalo dentro do qual esperamos encontrar o verdadeiro valor, com algum nível de confiança. Por exemplo, um medidor pode medir o consumo como 5.000 unidades com uma precisão de ± 100 unidades, a uma confiança de 95%. Tal afirmação significa que 95% das leituras do mesmo valor devem estar entre 4.900 e 5.100 unidades.

Em uma determinação de economia, é viável quantificar muitos fatores de incerteza, mas geralmente não todos eles. Portanto, ao planejar um processo de M&V, deve-se relatar os fatores de incerteza quantificáveis e também os elementos qualitativos de incerteza. O objetivo é reconhecer e relatar todos os fatores de incerteza, qualitativa ou quantitativamente.

Quando se descreve a precisão dentro de qualquer relatório de economia de energia, deve-se relatar as economias sem mais dígitos significativos do que o menor número de dígitos significativos em quantidades, estimativas ou constantes medidas usadas no processo de quantificação (ver a Seção 4.15 abaixo).

4.5. Custo

O custo da determinação da economia de energia pela M&V depende de muitos fatores, tais como:

- » a Opção do PIMVP selecionada,
- » o número de AEEs, sua complexidade e interação entre elas,
- » o número de fluxos de energia através da fronteira de medição nas Opções A, B ou D quando aplicada apenas a um sistema,
- » o nível de detalhe e esforço associado ao estabelecimento das condições da linha de base necessário para a opção selecionada,
- » a quantidade e complexidade dos instrumentos de medição (projeto, instalação, manutenção, calibração, leitura, remoção),
- » os tamanhos de amostra usados para medição dos equipamentos representativos,
- » o esforço de engenharia necessário para elaborar e apoiar as estimativas utilizadas nas Opções A ou D,
- » o número e complexidade de variáveis independentes utilizadas nos modelos matemáticos,
- » a duração do período de determinação da economia,
- » os requisitos de precisão,
- » os requisitos do relatório de M&V,

- » o processo de revisão ou verificação das economias relatadas, e
- » experiência e qualificação profissional das pessoas que executam a determinação da economia de energia.

Os custos de M&V devem estar de acordo com o valor da economia esperada, a duração do período de retorno da AEE e os interesses dos usuários na precisão, na frequência e na duração do processo de M&V. Muitas vezes, esses custos podem ser compartilhados com outros objetivos, como controle em tempo real, *feedback* operacional ou subfaturamento de um locatário ou departamento. Protótipos ou projetos de pesquisa podem suportar um custo de M&V maior do que o normal, por uma questão de estabelecer com precisão as economias geradas pelas AEEs que serão repetidas. No entanto, o PIMVP é escrito para fornecer muitas maneiras possíveis de documentar os resultados de uma AEE para que os usuários possam desenvolver procedimentos de M&V de baixo custo que forneçam as informações adequadas.

É difícil generalizar sobre os custos para as diferentes opções do PIMVP, uma vez que cada projeto terá seu próprio orçamento. No entanto, a M&V não deve incorrer em mais custos do que o necessário para proporcionar segurança e verificação adequadas nas economias relatadas, de acordo com o orçamento global para as AEEs.

A Tabela 2 destaca os principais fatores que regem os custos característicos de cada opção, ou não listados acima.

Tabela 2. Elementos característicos dos custos de M&V

Opção A	<ul style="list-style-type: none"> » Número de pontos de medição » Complexidade das estimativas » Frequência das inspeções no período de determinação da economia
Opção B	<ul style="list-style-type: none"> » Número de pontos de medição » Duração do período de determinação da economia
Opção C	<ul style="list-style-type: none"> » Número de fatores estáticos a rastrear no período de determinação » Número de variáveis independentes a serem utilizadas para os ajustes de rotina
Opção D	<ul style="list-style-type: none"> » Número e complexidade dos sistemas simulados » Número de medições em campo necessárias para prover os dados de entrada para a simulação calibrada » Habilidade do profissional para realizar a calibração do sistema

Comumente, uma vez que a Opção A envolve estimativas, envolverá menos pontos de medição e menor custo, já que os custos de estimativa e inspeção não são tão altos. Os métodos da Opção A geralmente têm menor custo e maior incerteza do que os métodos de Opção B. Como novos equipamentos de medição estão frequentemente envolvidos nas Opções A ou B, o custo de manutenção desses equipamentos pode tornar a Opção C menos onerosa em períodos de determinação longos, mas isso deve

ser comparado aos custos de rastreamento de fatores estáticos e elaboração de ajustes não de rotina. No entanto, os custos de medidores extras para as opções A ou B podem ser compartilhados com outros objetivos de monitoramento ou alocação de custos. Quando várias AEEs são instaladas em um local, pode ser menos caro usar as Opções C ou D do que isolar e medir vários AEEs com as opções A ou B. Um modelo de simulação da Opção D é muitas vezes demorado e caro. No entanto, o modelo pode ter outros usos, como para projetar as próprias AEEs ou projetar uma nova instalação.

É esperado que os custos de M&V sejam mais altos no início do período de determinação da economia. Nesta fase de um projeto, os processos de medição estão sendo refinados, e o preciso monitoramento de desempenho ajuda a otimizar a operação da AEE. O custo para cada determinação de economia deve ser proporcional às economias esperadas e à sua variação (ver Seção 4.6 abaixo).

Um executante (por exemplo, uma ESCO) é frequentemente responsável por somente alguns indicadores de desempenho. Outros indicadores podem não ter que ser medidos para fins contratuais, embora o proprietário da instalação ainda possa querer medir todos os indicadores. Nesta situação, o proprietário e o executante compartilham os custos da medição.

4.6. Equilibrar a incerteza e o custo

O nível aceitável de incerteza num relatório de M&V está relacionado com o custo da diminuição da incerteza para um nível adequado em relação à economia esperada. Normalmente, os custos médios anuais de M&V devem ser inferiores a 10% da economia média anual que está sendo avaliada. A economia de energia em jogo, portanto, coloca um limite no orçamento de M&V, o que, por sua vez, determina quanta incerteza é aceitável.

Por exemplo, considere um projeto com uma economia esperada de \$100.000⁵ por ano e um custo de \$5.000/ano para uma abordagem básica de M&V com uma precisão não melhor do que $\pm \$25.000/\text{ano}$ com 90% de confiança. Para melhorar a precisão para $\pm \$7.000/\text{ano}$ pode ser visto como razoável aumentar as despesas de M&V até \$10.000/ano (10% da economia), mas não \$20.000/ano (20%).

O nível aceitável de incerteza em um projeto de M&V é muitas vezes uma questão para as partes interessadas do projeto, o que depende do rigor requerido. No entanto, reduzir a incerteza requer mais ou melhores dados operacionais. Os dados operacionais aprimorados permitem o ajuste fino da economia e o aprimoramento de outras variáveis operacionais. Mais informações operacionais também podem ajudar a dimensionar equipamentos para expansão da planta ou para a substituição de equipamentos antigos.

O *feedback* aprimorado criado pela M&V também pode permitir que pagamentos mais altos sejam feitos em um contrato de desempenho energético com base em dados medidos em vez de valores de economia considerados, que devem ser conservadores. Claro, nem todas as incertezas podem ser quantificadas (ver Seção 4.4 acima). Portanto, tanto as contribuições de incerteza quantitativa quanto qualitativa devem ser consideradas ao avaliar as opções de custo de M&V para cada projeto.

⁵ O original contém uma grafia em dólares americanos (US \$), que foi removida por ser apenas um exemplo de valor, válido em qualquer moeda (NT).

Para cada projeto, local e proprietário da instalação, há um plano de M&V ótimo. A definição desse plano ótimo de M&V deve incluir a consideração iterativa da sensibilidade da incerteza e custo de M&V para cada parâmetro de projeto de M&V. A “Avaliação de Incerteza para o PIMVP 100-1:2018” apresenta métodos de quantificação da incerteza, métodos de combinação de vários componentes da incerteza e definição de critérios ou objetivos de incerteza.

Nem todos as AEEs devem esperar alcançar o mesmo nível de incerteza de M&V, uma vez que a incerteza é proporcional à complexidade da AEE e às variações nas condições operacionais durante os períodos da linha de base e determinação da economia. Por exemplo, os métodos da Opção A podem permitir que as economias de um simples projeto de iluminação de planta industrial sejam determinadas com menos incerteza do que as economias de uma troca de *chiller*, uma vez que os parâmetros de iluminação estimados podem ter menos incerteza do que os de um sistema de refrigeração.

Ao determinar o nível de medição e os custos associados, o Plano de M&V deve considerar a variação no consumo e demanda de energia dentro da fronteira de medição. Por exemplo, a iluminação pode usar a eletricidade razoavelmente constante todo o ano, tornando relativamente fácil determinar a economia, enquanto cargas de aquecimento e refrigeração mudam sazonalmente, tornando a determinação da economia mais difícil. Considerar as seguintes diretrizes gerais para balancear custos e incertezas em um processo de M&V.

- » **Baixa variação da energia e baixo valor da AEE.** As AEEs de baixo valor normalmente não podem gastar muito com M&V, com base na diretriz de 10% de economia, especialmente se houver pouca variação nos dados de energia medidos. Tais situações combinadas tenderiam a favorecer o uso da Opção A com períodos de determinação da economia curtos; por exemplo, no caso de um motor de velocidade constante em um exaustor que opere em carga constante de acordo com uma programação bem definida.
- » **Alta variação da energia e baixo valor da AEE.** As AEEs de baixo valor geralmente não podem gastar muito com M&V, como acima. No entanto, com uma alta variação nos dados de energia, as técnicas de medição de parâmetros da Opção B podem ser necessárias para alcançar a incerteza necessária. As técnicas de amostragem podem reduzir os custos da Opção B. A opção C pode não ser adequada com base na orientação geral na Seção 6.5 dos “Conceitos Básicos” de que a economia deve exceder 10% do uso medido de uma instalação para ser mensurável.
- » **Baixa variação da energia e alto valor da AEE.** Com baixa variação no consumo e demanda de energia, a incerteza é muitas vezes pequena, então as técnicas da Opção A podem ser mais adequadas. No entanto, como se espera uma alta economia, pequenas melhorias na precisão podem ter recompensas monetárias grandes o suficiente para merecer uma medição e análise de dados mais precisas, se se puder manter os custos de M&V apropriados em relação à economia. Por exemplo, se a economia de uma AEE for \$1.000.000 por ano, poder-se-á decidir aumentar o custo anual de M&V de \$5.000 para \$20.000, se isto aumentar a precisão e fornecer mais dados operacionais. Alternativamente, uma AEE de alto valor pode ser claramente mensurável com a Opção C. A Opção C pode manter os custos de M&V baixos, se procedimentos simples forem usados para monitorar os fatores estáticos para detectar a necessidade de ajustes não de rotina.
- » **Alta Variação de energia e alto valor da AEE.** Esta situação permite uma redução adequada da incerteza através da extensa coleta e análise de dados utilizando as Opções A, B ou D. No entanto, é provável que as economias também apareçam usando-se o medidor da concessionária, de modo

que as técnicas de Opção C podem ser usadas com monitoramento cuidadoso de fatores estáticos para detectar a necessidade de ajustes não de rotina. O período de determinação da economia pode ter que abranger vários ciclos normais de operação da instalação.

4.7. Revisão por um verificador independente

Quando um prestador de serviço (ESCO) executa a AEE e a M&V, o proprietário da instalação pode precisar de um verificador independente para rever a determinação da economia. Este verificador independente deve começar revendo o Plano de M&V durante a sua preparação, para garantir que a determinação da economia satisfaça as expectativas de incerteza do proprietário.

A revisão independente também poderia examinar ajustes não de rotina. No entanto, uma revisão completa dos ajustes não de rotina requer uma boa compreensão da instalação, suas operações e técnicas de cálculo de engenharia de energia. O proprietário da instalação deve fornecer resumos de mudanças nos fatores estáticos para que o verificador possa se concentrar nos cálculos de engenharia nos ajustes não de rotina.

Um contrato de desempenho energético exige que ambas as partes acreditem que os pagamentos de desempenho são baseados em informações válidas. Um verificador independente pode ser útil para garantir a validade da medição e evitar conflitos. Se os conflitos surgirem durante o período de determinação da economia, esse verificador independente pode ajudar a resolver os conflitos.

Os verificadores independentes são tipicamente consultores de engenharia com experiência e conhecimento em AEEs, M&V e contratos de desempenho energético. Muitos são membros de sociedades profissionais da indústria ou são profissionais certificados em M&V (CMVP®s – *Certified Measurement and Verification Professional*).⁶

4.8. Dados para o comércio de emissões

A aderência ao PIMVP pode proporcionar maior confiança nos relatórios de economia de energia, o que também aumenta a confiança nos relatórios associados de *commodities* de redução de emissões. Combinado com o Plano de M&V específico de cada projeto, o PIMVP aumenta a consistência dos relatórios e permite a validação e verificação de projetos de economia de energia.

No entanto, para verificar uma *commodity* de redução de emissões, o PIMVP e o Plano de M&V do projeto devem ser usados em conjunto com as orientações específicas do programa de negociação de emissões sobre a conversão de economia de energia em redução de emissões equivalente. O comércio de emissões

⁶ O programa CMVP® é uma atividade conjunta da *Efficiency Valuation Organization* (EVO) e da *Association of Energy Engineers* (AEE). É acessível através do site da EVO www.evo-world.org.

será facilitado se os seguintes métodos de relato de energia forem considerados ao projetar o processo para determinar as unidades de energia economizadas.

- » As economias elétricas devem ser divididas em períodos de ponta e períodos fora de ponta, e temporada de ozônio e temporada não-ozônio, quando a negociação de NOx ou VOC está envolvida. Esses períodos são definidos pelo programa de comércio de emissões relevante.
- » As reduções nas compras da rede elétrica devem ser divididas em entre aquelas devido à redução de carga e às devidas ao aumento da autogeração na instalação.
- » A linha de base ajustada usada para o cálculo de economia de energia pode precisar mudar para atender aos requisitos do programa específico de comércio de emissões. Para fins de comércio de emissões, as linhas de base ajustadas têm de considerar se as AEEs eram "excedentes" ou "adicionais" ao comportamento normal. As AEEs podem não ser autorizadas a compor o negócio de emissões se forem "praticadas como de costume" ("*business as usual*") ou simplesmente em conformidade com os regulamentos existentes. As regras da linha de base são definidas pelo programa de comércio de emissões relevante. Por exemplo, quando os padrões de eficiência mínima de equipamentos regem o mercado de equipamentos, esses padrões definem a linha de base para determinar valores negociáveis.
- » Segregar a economia de energia por local, se um projeto abrange várias instalações, ou se as emissões puderem estar fora de um determinado ambiente (*airshed*) de preocupação.
- » Segregar a economia por tipo de combustível ou tipo de caldeira, se diferentes taxas de emissão se aplicarem a cada dispositivo de combustão.

Cada sistema de comércio de emissões geralmente tem suas próprias regras em torno de fatores de emissão a serem aplicados à economia de energia. Para a economia de combustível, as taxas de emissão padrão podem ser dadas quando nenhum equipamento de medição de emissões está instalado. Para a economia de eletricidade, os valores padrão também podem ser dados para a taxa de emissão da rede elétrica. Alternativamente, os usuários podem estabelecer sua própria taxa de emissão para a economia de eletricidade, seguindo princípios reconhecidos.

4.9. Condições operacionais mínimas

Um programa de eficiência energética não deve afetar o uso da instalação a que é aplicada, sem o acordo de ocupantes de edifícios ou gestores de processos industriais. Os principais parâmetros do usuário podem incluir nível de iluminação, temperatura, taxas de ventilação, pressão de ar comprimido, pressão e temperatura de vapor, taxa de fluxo de água, taxa de produção, etc. O Plano de M&V deve registrar que as condições mínimas de operação acordadas serão mantidas (veja a Seção 7 dos "Conceitos Básicos do PIMVP").

4.10. Dados meteorológicos

Onde as medições mensais de energia são usadas, os dados meteorológicos devem ser registrados diariamente para que possam ser combinados com as datas reais de leitura de medição de energia. Para análise mensal ou diária, os dados meteorológicos publicados pelos governos são geralmente os mais precisos e comprováveis. No entanto, os dados meteorológicos de fontes do governo podem não estar disponíveis tão prontamente quanto os dados meteorológicos monitorados no local. Se se usar equipamentos de monitoramento do clima no local, deve-se certificar de que estão calibrados regular e corretamente, e situados corretamente na instalação ou perto da instalação. Ao analisar a resposta do consumo de energia e da demanda ao clima na modelagem matemática, os dados diários da temperatura média ou graus-dia podem ser usados.

4.11. Padrões mínimos de energia

Quando um certo nível de eficiência é exigido por lei ou pela prática padrão do proprietário da instalação, a economia pode ser baseada na diferença entre a energia do período de determinação da economia e esse padrão mínimo. Nestas situações, a energia do período da linha de base pode ser definida igual ou inferior às normas mínimas de energia aplicáveis.

4.12. Questões de medição

A aplicação adequada de medidores para aplicações específicas é uma ciência em si. Inúmeras referências estão disponíveis para esse fim, como o Guia ASHRAE 14-2014. A Tabela 3 resume alguns tipos-chave de medidores e fornece comentários sobre questões de M&V para alguns deles. Esta tabela não deve ser tomada como completa nem definitiva.

4.13. Erros de coleta de dados e dados perdidos

Nenhum processo de coleta de dados é sem erro. Metodologias para coleta de dados do período de determinação da economia diferem em grau de dificuldade e, consequentemente, na quantidade de dados errôneos ou ausentes que possam surgir. O Plano de M&V deve estabelecer uma taxa máxima aceitável de perda de dados e como será medida. Este nível deve ser parte da consideração geral de precisão. O nível de perda de dados pode afetar drasticamente o custo. O Plano de M&V também deve estabelecer uma metodologia pela qual os dados do período de determinação ausentes ou errôneos serão recriados por interpolação para análise final. Nesses casos, modelos do período de determinação são necessários para interpolar entre os pontos de dados medidos para que as economias possam ser calculadas para cada período.

Observar que os dados da linha de base consistem em fatos reais sobre energia e variáveis independentes como existiam durante este período. Portanto, os dados da linha de base com problema não devem ser substituídos por dados modelados, exceto ao usar a Opção D. Quando os dados da linha de base estão ausentes ou são inadequados, deve-se procurar outros dados reais para substituí-los ou alterar o período da linha de base para que contenha apenas dados reais. O Plano de M&V deve documentar a fonte de todos os dados da linha de base.

Tabela 3. Tipos de medidores chave

Aplicação	Categoria do medidor	Tipo de medidor	Precisão típica	Custo relativo	Melhores usos	Questões de M&V especiais
Corrente alternada (A)	Transformador de corrente (TC)	Toroide ou núcleo dividido	+/-1%			Não usar onde o fator de potência for menor que 1 ou houver distorção senoidal
Tensão alternada (V)	Garras de tensão ou transformador de potencial (TP)					
Potência (W) ou energia (Wh) em corrente alternada	Wattímetro ou medidor de energia valor eficaz verdadeiro (<i>true RMS</i>)	Medir W (ou A, V e fp) e Wh. Usar amostra digital (IEEE 519-2014) para ondas distorcidas.				Necessário para cargas indutivas (p.e., motores, reatores) ou circuitos com harmônicos de componentes como acionadores de velocidade variável
Tempo de operação (h)	Medir e registrar períodos de operação de equipamentos	Operado por bateria		Custo mais baixo que registrador de Wh	Períodos de acendimento	Para equipamentos de potência constante
Temperatura (graus)	RTD (detetor de temperatura por resistência)		Razoável	Baixo custo	Ar e água	Amplamente usado. Cuidado para compensar diferentes comprimentos de cabo
	Termopar		Alto	Alto		Pequena faixa. Aplicável a medição de energia térmica. Necessita amplificação de sinal
Umidade (%)						Necessita recalibração regular
Vazão líquida (unidades/s)	Intrusivos	Pressão diferencial	+/- 1-5% FE			
		Deslocamento positivo	+/-1%			
		Turbina (ou com inserção a quente)	+/-1%		Fluidos limpos, trechos retos	
		Vórtex	Alto			
	Não intrusivos	Ultrassônico	+/-1%		Trecho reto	Medições pontuais
		Magnético		Alto		
		Balde e cronômetro		Baixo	Condensado de vapor, chuveiro	Medições pontuais
Pressão (bar)		Manômetro digital	+/- 2%			
Energia térmica	Pacote incluindo medição de vazão, registro de temperaturas e cálculo	Utiliza sensores precisos de fluxo e temperatura. Para o vapor pode precisar de sensores de pressão e temperatura	<1%	Alto		Usar sensores de temperatura iguais para medir diferença de temperatura. Gerenciar cuidadosamente todas as fontes possíveis de erro

4.14. Uso de sistemas de controle para coleta de dados

Um sistema de controle informatizado (comumente referido como um sistema de automação de edifícios ou BAS, sistema de gerenciamento de edifícios ou BMS, sistema de controle de gerenciamento de energia ou EMCS⁷, etc.) pode fornecer grande parte do monitoramento necessário para a coleta de dados. No entanto, o *hardware* e o *software* do sistema devem ser capazes de realizar controle e coleta de dados simultaneamente, sem retardar o processamento de dados, consumir excesso de largura de banda de comunicação ou preencher demais o armazenamento. Alguns parâmetros medidos - medição de energia elétrica, por exemplo - podem não ser úteis para o controle. A tendência de pequenas potências, iluminação e consumo de energia de alimentação principal pode ser muito útil para determinação de economia de alta qualidade e *feedback* operacional, mas inútil para o controle em tempo real.

O *software* do sistema de controle muitas vezes pode executar outras funções para auxiliar o rastreamento de alterações em fatores estáticos durante o período de determinação da economia, como registrar automaticamente alterações nos conjuntos de ajustes (*setpoints*). A equipe de operação da instalação deve ser devidamente treinada neste uso do sistema para que possa desenvolver suas próprias informações de tendências para diagnosticar problemas do sistema, desde que o sistema tenha a capacidade de tendência extra. No entanto, quando um prestador de serviços é responsável por algumas operações controladas pelo sistema, as medidas de segurança devem garantir que as pessoas só possam acessar funções para as quais são competentes e autorizadas.

A equipe de projeto e monitoramento do sistema de controle pode ter uma conexão direta somente de leitura no sistema por meio de um *link* da internet para que ele possa inspecionar facilmente os dados de tendência no escritório da equipe. No entanto, as possíveis preocupações sobre ataques com vírus e segurança computacional devem ser abordadas nesta situação.

Os sistemas de controle podem registrar o consumo e a demanda de energia com sua capacidade de tendência. No entanto, alguns sistemas registram eventos de "mudança de valor" (do inglês "*change of value*" - COV) que não são usados diretamente para calcular a economia de energia sem rastrear intervalos de tempo entre eventos individuais de COV. É possível reduzir os limites de COV, a fim de forçar a tendência para intervalos mais regulares, mas isso pode sobrecarregar sistemas que não são projetados para tais densidades de dados.

Cuidado especial deve ser tomado para:

- » Controle de acesso e/ou alterações no registro de tendência do sistema a partir do qual os dados de energia são extraídos.
- » Desenvolver rotinas de pós-processamento para alterar quaisquer dados de COV do sistema de controle em dados de séries temporais para executar a análise.
- » Obter do fornecedor do sistema de controle:

⁷ BAS: building automation system, BMS - building management system, EMCS - energy management control system (NT).

- calibrações rastreáveis padrão de todos os sensores usados,
- evidências de que algoritmos proprietários para contagem e/ou totalização de pulsos e unidades são precisos e
- o compromisso de que existe capacidade adequada de processamento e armazenamento para lidar com dados de tendências, considerando as funções de controle do sistema suportadas.

4.15. Dígitos significativos

Ao realizar qualquer cálculo aritmético, é preciso considerar a precisão inerente dos dados, de modo que o resultado não indique maior precisão do que é defensável. Por esta razão, os engenheiros adotaram um padrão de regras de arredondamento que limitam a resolução de um resultado ao que é suportado pelos dados. Assim, o PIMVP adotou as seguintes regras para garantir que todos os cálculos realizados segundo este padrão aderem a rigorosos padrões de precisão. As regras para dígitos significativos são derivadas do conceito "diferencial total" do cálculo. Expresso em função de duas variáveis, o diferencial total é:

Equação 2

$$df(x, y) = \frac{\delta f}{\delta x} \cdot dx + \frac{\delta f}{\delta y} \cdot dy$$

Se as mudanças incrementais, **dx & dy**, forem trocadas pelos erros absolutos, **Δx & Δy**, resulta a seguinte equação:

Equação 3

$$df(x, y) = \frac{\delta f}{\delta x} \cdot \Delta x + \frac{\delta f}{\delta y} \cdot \Delta y$$

A partir da **Equação 3**, podemos calcular os limites do erro absoluto. As regras para dígitos significativos estão de acordo com a **Equação 3** quando o erro absoluto é maior ou igual a ± 1 unidade do menor dígito significativo.

Para calcular o número de dígitos significativos de um número, basta contar o número de dígitos ignorando quaisquer zeros à direita terminando na coluna "unidade" (sem um ponto decimal). Quaisquer zeros à direita ou à esquerda de um separador decimal são considerados significativos.

Tabela 4. Regras de dígitos significativos para operações aritméticas

Operação aritmética ⁸	Regra
Adição/Subtração $X + Y$	Arredondar (para cima ou para baixo, conforme apropriado) o resultado no dígito mais à direita (unidade mais baixa), onde todos os números têm um dígito comum. O número de dígitos significativos será o total dos dígitos do resultado.
Multiplicação/Divisão $X \times Y$	O número de dígitos significativos no resultado equivale ao menor número de dígitos significativos de qualquer um dos números de entrada.
Potenciação X^a	O número de dígitos significativos equivale ao número de dígitos significativos na entrada.

Exemplos

Números

00123 \rightarrow 3 dígitos significativos

12300 \rightarrow 3 dígitos significativos (equivale a $1,23 \times 10^4$)

12300, \rightarrow 5 dígitos significativos (equivale a $1,2300 \times 10^4$)

12300,000 → 8 dígitos significativos

12300,012 \rightarrow 8 dígitos significativos

Soma

			0	,	2	0	5	6
+			2	,	5	7	2	
+	1	4	4	,	2	5		
+	8	7	6	,	1			
=	1	.	0	2	3	,	1	

O número de dígitos significativos é 5.

Multiplicação

$$12,345 \times 0,0369 = 0,456$$

⁸ Existem regras adicionais para funções logarítmicas e exponenciais que não estão incluídas aqui.

Multiplicação

$$56,000 \times 0,00785212 = 0,43972$$

Potenciação

$3,00^{\pi} = 31,5$ (3 dígitos significativos na entrada geram 3 na saída).

A fim de garantir a consistência e a repetibilidade, todos os cálculos devem ser realizados por uma operação aritmética antes de aplicar essas regras. Por exemplo, se um motor, funcionando em uma carga constante de 32,1 kW funcionou por 4.564 horas anualmente e o custo unitário da concessionária era \$0,0712 por kWh, o custo da energia elétrica NÃO É...

$$32,1kW \times 4.564h = 146.504kWh \rightarrow 147.000kWh$$

$$147.000kWh \times \frac{\$0,0712}{kWh} = \$10.466 \rightarrow \$10.500$$

Em vez disso, é corretamente calculado pela realização de toda a multiplicação e divisão em conjunto

$$32,1kW \times 4.564h \times \frac{\$0,0712}{kWh} = \$10.431 \rightarrow \$10.400$$

Nota: as regras de dígitos significativos não se misturam. Realizar todos os cálculos por "operação aritmética" antes de prosseguir para o próximo tipo de operação.

Casos especiais

Alguns números são representados com dígitos significativos finitos, embora possam ser tratados como exatos. Os números exatos têm infinitos dígitos significativos. Um exemplo de um número exato pode ser um preço unitário da concessionária. Se o preço unitário da concessionária local foi de \$0,06 por kWh e a Empresa X usou 725.691,0 kWh em um mês, a conta de energia seria de \$43.541,46, e não \$40.000,00 pela regra de multiplicação acima. Isso ocorre porque o custo unitário da concessionária é exato; pode ser representado como por \$0,06000 por kWh. Não há nenhum erro de medição associado aos preços unitários da concessionária.

Outro exemplo inclui variáveis de tempo. Se a empresa X garantiu uma economia de energia de \$1,15 milhões por ano durante 3 anos, a economia total seria de \$3,45 milhões e não \$3 milhões. A menos que expresse como um número decimal, uma variável de tempo deve ser considerada exata.

Deve-se ter cuidado para reconhecer esses números nos cálculos de M&V, caso contrário, a precisão do resultado pode ser comprometida.

5. Exemplos de aplicação de Medição e Verificação

Esta seção apresenta uma variedade de tipos de projeto e discute as principais questões de M&V decorrentes das situações descritas. Cada exemplo mostra apenas um projeto de M&V aderente ao PIMVP, embora existam inúmeras concepções de M&V possíveis para qualquer projeto de eficiência energética.

Tabela 5. Exemplos de 12 cenários diferentes

Opção A	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melhoria da eficiência do motor/bomba 2. Melhoria da eficiência de caldeira 3. Melhoria da eficiência da iluminação 4. Controle operacional de iluminação
Opção B	<ol style="list-style-type: none"> 5. Eficiência da iluminação pública e dimerização 6. Gestão de vazamento de ar comprimido 7. Melhoria do conjunto turbina-gerador 8. Deslocamento da demanda de motor/bomba
Opção C	<ol style="list-style-type: none"> 9. Acompanhamento de contas de energia com relação ao orçamento
Opção D	<ol style="list-style-type: none"> 10. AEEs múltiplas em um edifício sem medidores de energia no período de linha de base 11. Novo edifício projetado mais eficiente do que o código de construção

Estes exemplos entram em diferentes níveis de profundidade, a fim de destacar diferentes características das abordagens comuns de M&V. Nenhum deles é abrangente.

Estes exemplos de todo o mundo usam uma variedade de unidades de engenharia e moedas em uso comum local. A tabela a seguir proporciona uma conversão aproximada.

Tabela 6. Tabela de conversão aproximada de unidades

Multiplicar		Por	Para achar
Gás natural	m ³	35	ft ³
	mcf	1.000	ft ³
Vapor	libra	0,45	kg de vapor
Óleo	litro	0,26	galão (US)

Os assinantes da EVO são incentivados a enviar seus próprios exemplos para possível inclusão na biblioteca da página da internet (e-mail para: evo.central@evo-world.org).

5.1. Melhoria da eficiência de motor/bomba: **Opção A**

Situação

Dez conjuntos de bombas de irrigação estão distribuídos em torno de uma propriedade agrícola sul-africana para bombear água de poços subterrâneos. A operação da bomba é geralmente contínua durante a estação seca anual normal de seis meses, embora as bombas sejam ligadas e desligadas manualmente como necessário. A concessionária local ofereceu um subsídio parcial para substituir as bombas por novas bombas e motores de alta eficiência. Para fazer o pagamento final do subsídio, a concessionária exigiu demonstração de curto prazo de consumo e demanda de energia evitados de forma aderente ao PIMVP. O proprietário está interessado em substituir suas bombas antigas e reduzir os custos de energia, então ele pagou pela contrapartida dos custos de instalação e concordou em fornecer dados para a concessionária após a reforma.

Fatores que afetam o projeto de M&V

A medição da eletricidade da bomba é executada por cinco medidores da concessionária. Estes medidores servem apenas as dez bombas. Antes da implementação do projeto, considerou-se possível que as novas bombas pudessem aumentar as taxas de bombeamento em alguns poços, de modo que as horas de bombeamento pudessem ser reduzidas. O proprietário e a concessionária reconhecem que as horas de funcionamento e, portanto, as economias, dependem das condições de crescimento da planta e da precipitação a cada ano. Nenhuma das partes tem controle sobre essas variáveis que regem a energia.

O proprietário buscou o menor custo possível para a coleta e envio de dados para a concessionária. Um executante foi contratado para selecionar e instalar as bombas que atendiam as especificações do proprietário e da concessionária. A vazão da bomba é constante porque não há válvulas de restrição e a profundidade do poço quase não é afetada pelo bombeamento.

Plano de M&V

O Plano de M&V foi desenvolvido conjuntamente pelo proprietário e concessionária, seguindo um modelo fornecido pela concessionária. A Opção A dos “Conceitos Básicos do PIMVP” foi selecionada para minimizar os custos de M&V. O método acordado da Opção A envolve a negociação de uma estimativa do horário de funcionamento anual da bomba para um ano normal e a multiplicação deste número pela redução de potência medida.

Foi acordado que o equipamento de medição do executante era suficientemente preciso para medir a potência do motor. Antes da remoção, o executante mediu a potência de cada motor antigo após funcionar por no mínimo três horas. A concessionária usou o direito de testemunhar essas medições. Desde que as bombas operam em vazão constante, as horas de funcionamento anuais médias foram derivadas do consumo faturado em kWh da eletricidade do ano passado dividido pela potência em kW dos motores antigos da bomba.

Este cálculo mostrou que, em média, as bombas operaram por 4.321 horas no ano seco antes da reforma. A concessionária encontrou dados revelando que a precipitação total durante essa estação seca foi 9,0% menor do que o normal. O proprietário e a concessionária, portanto, concordaram que a operação da bomba durante esse ano foi 9,0% maior do que o normal. Concordaram que as horas normais seriam 91,0% de 4.321 ou 3.932⁹ horas por ano.

Resultados

A economia de energia foi determinada usando a opção A do PIMVP da seguinte forma:

Potência total das bombas antes da reforma	132 kW
Potência total das bombas após a reforma	98,2 kW
Redução da potência	33,8 kW¹⁰

$$\text{Economia de energia} = 34 \text{ kW} \times 3.932 \text{ horas/ano} = 130.000 \text{ kWh/ano}^{11}$$

O pagamento final da concessionária do seu subsídio foi baseado em 130.000 kWh de economia de energia. Utilizando os mesmos períodos operacionais estimados, as economias estimadas do proprietário em condições normais de precipitação e a preços atuais da concessionária foram determinadas como

⁹ Observar que este número de 3.932 deve ser expresso com apenas 3 dígitos significativos, uma vez que 91,0% tem apenas 3 dígitos significativos. Deve ser expresso mais corretamente como $3,93 \times 10^3$. No entanto, a forma comum é usada.

¹⁰ O número calculado real de 33,8 deve ser tratado como tendo 2 dígitos significativos. Esta afirmação é feita porque a subtração que levou a 33,8 não deve mostrar mais dígitos à direita da vírgula decimal do que o número com o menor número à sua direita (132 não tem nenhum, então 34 não tem nenhum).

¹¹ O produto de 34 por 3.932 tem apenas 2 dígitos significativos. Embora o resultado seja 133.688, a expressão adequada de seu produto é de $1,3 \times 10^5$, ou 130.000

sendo de $34 \text{ kW} \times 3.932 \text{ h}^{12} \times \$ 0,2566/\text{kWh} = \$ 34.000/\text{ano}^{13}$. As taxas de rede e serviço público permaneceram inalterados.

5.2. Melhoria da eficiência de caldeira: Opção A

Situação

Um profissional da área de vapor substituiu a caldeira existente de um prédio de escritórios alemão por uma caldeira mais eficiente. O executante garantiu uma economia anual de óleo de pelo menos € 25.000, assumindo que as cargas na caldeira eram as mesmas que ele mediu durante o período de base. O contrato com o proprietário especificou que os serviços seriam pagos somente depois que o executante apresentasse um relatório de economia aderindo aos “Conceitos Básicos do PIMVP”. Também foi especificado que o proprietário e o executante concordariam com o Plano de M&V como parte dos trâmites de projeto.

Fatores que afetam o projeto de M&V

Havia numerosas mudanças em curso no edifício quando da revisão da caldeira, assim que supôs-se que haveria mudança na carga de vapor. O executante é somente responsável pela melhoria da eficiência da caldeira, não pelas mudanças na carga de vapor. A caldeira é o único equipamento no edifício usando óleo. O preço do óleo a ser utilizado para comprovar a garantia de desempenho foi de € 0,70/litro.

Plano de M&V

A Opção A dos “Conceitos Básicos do PIMVP” foi escolhida para isolar a caldeira das mudanças em curso no resto do edifício. A fronteira de medição foi desenhada para incluir apenas a caldeira, medindo o uso de combustível e a energia térmica líquida entregue ao edifício. Esta fronteira exclui o uso de eletricidade do queimador e do ventilador da caldeira. As alterações nesses efeitos elétricos interativos foram consideradas insignificantes, não valendo a pena a sua inclusão na fronteira de medição ou mesmo uma estimativa em separado.

A garantia do executante foi declarada em relação à utilização do ano anterior à apresentação da proposta. Durante esse período, a instalação comprou 241.300 litros de óleo de aquecimento para a caldeira. Houve um aumento de 2.100 litros no inventário de óleo entre o início e o final daquele ano. Portanto, o consumo real foi de 239.200 litros. A carga de energia na caldeira será determinada a partir desses dados de uso de óleo, uma vez que a eficiência da caldeira antiga seja estabelecida. Uma estimativa

¹² 133.688 é o valor calculado real antes do arredondamento de dígitos significativos.

¹³ Esse valor pode ser expresso em não mais de dois dígitos significativos, a partir das observações acima sobre o número mínimo de dígitos significativos. O valor calculado real é R 34.103 e deve ser melhor expresso como R $3,4 \times 10^4$, embora 34.000 seja o formato de moeda habitual.

de 239.200 litros será utilizada; esta estimativa não apresenta erro, uma vez que¹⁴ a maior parte provém de dados das faturas de óleo, que é a fonte de referência sem erro.

A eficiência da caldeira será o parâmetro medido. Os testes de eficiência foram planejados para um período de condições típicas de inverno antes de se remover a caldeira antiga. As condições de inverno foram escolhidas para que houvesse carga suficiente para avaliar a eficiência em toda a gama de cargas da caldeira. Um medidor de energia térmica recentemente calibrado foi instalado pelo executante nas linhas de água de alimentação e de retorno da caldeira e um medidor de óleo calibrado instalado na alimentação de combustível à caldeira. Tanto o medidor de óleo quanto o medidor de energia térmica e o registrador de dados têm as precisões classificadas pelos fabricantes de $\pm 2\%$ para as faixas envolvidas neste projeto.

Os testes de eficiência da linha de base foram realizados ao longo de três períodos separados de uma semana cada, quando as temperaturas ambiente médias diárias variaram de -5°C a $+5^{\circ}\text{C}$. Testes idênticos foram planejados para o primeiro período após o comissionamento da nova caldeira, quando as temperaturas ambiente estarão mais uma vez na faixa de -5°C a $+5^{\circ}\text{C}$, usando os mesmos medidores de óleo e energia térmica deixados no lugar desde os testes de eficiência da linha de base. Como os três testes individuais de uma semana devem incluir períodos que representam a faixa de variação de cargas da caldeira, da mínima à máxima, concordou-se que os resultados do teste representariam adequadamente a melhoria anual que o proprietário poderia esperar.

As leituras do medidor de óleo e energia térmica serão realizadas diariamente através do pessoal de manutenção do prédio durante os meses de inverno até que três semanas válidas de testes tenham sido obtidas para a caldeira antiga. O mesmo processo será seguido para a nova caldeira. As leituras serão registradas na sala da caldeira e abertas para inspeção a qualquer momento. O sistema de automação de edifícios mede e registra a temperatura ambiente para as semanas válidas.

Um contrato adicional de € 5.100 foi aceito pelo proprietário para o fornecimento, instalação e comissionamento dos medidores de óleo e energia térmica e para o cálculo e determinação das economias. Considerou-se necessária a demonstração do desempenho por um ano inteiro. No entanto, o executante salientou que os custos adicionais de calibração do medidor e análise de dados acrescentaria € 3.000 aos serviços. O proprietário decidiu então que um curto período de teste de três semanas representativas seria adequado. O proprietário também decidiu manter e calibrar os medidores de óleo e energia térmica após o contrato e anualmente fazer seus próprios cálculos de eficiência da caldeira.

Resultados

Os dados de linha de base de óleo e energia térmica foram coletados continuamente durante um período de cinco semanas até que três foram encontradas onde as temperaturas ambiente médias diárias permaneceram dentro da faixa especificada de -5°C a $+5^{\circ}\text{C}$. Dividindo a energia térmica líquida fornecida pelo calor específico do óleo consumido, as leituras de eficiência média para a caldeira antiga durante os três períodos de uma semana foram determinadas em 65,2%. Após a instalação e comissionamento da caldeira, o período de determinação de três semanas foi novamente encontrado com uma temperatura

¹⁴ Os níveis de estoque de óleo são lidos a partir de um medidor de tanque não calibrado de precisão desconhecida. Como a magnitude dos ajustes de estoque é pequena em relação às remessas medidas para o ano, qualquer erro nesse termo do inventário foi considerado insignificante.

ambiente média entre -5°C a +5°C. Os resultados do teste de eficiência da caldeira tiveram uma média de 80,6%. Não houve outras alterações na caldeira entre o tempo dos testes do período de base e os testes do período de determinação. Portanto, não foram necessários ajustes não de rotina.

A economia anual usando 239.200 litros como o uso anual estimado de óleo a partir do período da linha de base são:

$$\text{Economia de óleo} = 239.200 \text{ litros} \times (1,000 - 0,652 / 0,806) = 45.700 \text{ litros}$$

O valor da economia monetária é de € 0,70 x 45.700 = € 31.900¹⁵. Esta economia anual estimada de um teste a curto prazo confirmou que o executante tinha atingido sua garantia de desempenho.

5.3. Eficiência da iluminação: Opção A

Situação

Luminárias mais eficientes foram instaladas em uma escola canadense, mantendo-se o nível de iluminação do local. Este projeto era parte de um programa mais amplo da Secretaria de Educação para contratar um executante que projetasse, instalasse e financiasse muitas mudanças em várias escolas. Os pagamentos do contrato basearam-se em economias de energia verificadas com os preços vigentes à época da assinatura do contrato. A economia deve ser demonstrada, de acordo com um Plano de M&V aderente ao PIMVP, imediatamente após o comissionamento da reforma. Como o proprietário controla a operação da iluminação, o contrato especificou que o Plano de M&V seguiria a Opção A dos “Conceitos Básicos do PIMVP”, usando tempos de funcionamento estimados. O Plano de M&V deveria ser detalhado antes da assinatura do contrato.

Fatores que afetam o projeto de M&V

- » Todas as luminárias são alimentadas por um sistema comum em 347 V dedicado exclusivamente à iluminação. Esta situação torna simples a medição de potência.
- » A operação da iluminação afeta significativamente as cargas de aquecimento e energia do aquecimento, assim os efeitos interativos necessitaram ser considerados e estimados.
- » A operação da iluminação afeta significativamente os requisitos de resfriamento. No entanto, uma vez que muito pouco da escola é refrigerada e pouco ocupada durante o período mais quente, os efeitos interativos de refrigeração foram ignorados.
- » A Secretaria de Educação teve dificuldade em aceitar uma suposição arbitrária de períodos operacionais de iluminação. Ela concordou em pagar por um período cuidadosamente medido e registrado de dois meses de uso da iluminação em uma escola. Este teste comprovaria as horas de funcionamento estimadas que seriam acordadas para todas as escolas.

¹⁵ A economia anual de óleo e monetária são expressas de forma conservadora com três dígitos significativos, o menor número de dígitos usados nos cálculos encontrados nos testes de eficiência.

Plano de M&V

A fronteira de medição desta AEE foi projetada para incluir as luminárias conectadas ao sistema de alimentação de 347 V.

- » O efeito interativo de aquecimento foi determinado por cálculos de engenharia como um aumento de 6,0% nas necessidades de energia de saída de caldeira, para o período de novembro a março. A eficiência da caldeira foi estimada em 79% em condições típicas de inverno.
- » Os fatores estáticos registrados para a linha de base incluíram um levantamento da iluminação que fornece a descrição, localização, nível de iluminamento, número de lâmpadas operacionais e queimadas, reatores e luminárias.
- » Trinta registradores de iluminação foram colocados em salas de aula, corredores, vestiários e escritórios escolhidos aleatoriamente e também no ginásio e auditório, por dois meses. Este período incluiu as férias de primavera de uma semana e dois feriados legais. A Tabela 7 resume os dados obtidos.

Tabela 7. Medição do tempo de uso

Localização	Fração da potência de iluminação	Horas semanais médias	
		Período de aulas	Período de férias
Vestiários	5%	106	22
Escritórios	5%	83	21
Salas de aula	61%	48	5
Auditório	10%	31	11
Ginásio	10%	82	25
Corredores	9%	168	168

Como as salas de aula representam a maior carga, a precisão relativa das medições do período operacional em salas de aula foi avaliada antes que a Secretaria de Educação pudesse concordar com os valores estimados.

Para os 19 registradores em salas de aula, o desvio padrão entre as leituras de seis semanas escolares registradas foi de 15 horas por semana. Com $19 \times 6 = 114$ leituras, o erro padrão nos valores médios foi calculado em 1,4 horas por semana. Com 95% de confiança, o valor do t para um grande número de observações é de 1,96. Portanto, foi estabelecido com 95% de confiança que a precisão relativa no horário de funcionamento medido da sala de aula é:

$$= \frac{1,96 \times 1,4}{48} = 5,7\%$$

A Secretaria de Educação considerou essa precisão de medição adequada.

Antes de estimar valores para todas as escolas, foi decidido adicionar seis horas por semana ao horário de aula por causa dos planos para aumentar as aulas noturnas. Considerando que há 39 semanas escolares

e 13,2 semanas de férias em um ano médio (com anos bissextos), o horário de funcionamento anual estimado foi acordado para ser o seguinte:

Tabela 8. Horas operacionais estimadas

Localização	Fração da potência de iluminação	Horas semanais estimadas		Horas anuais estimadas
		39,0 semanas de aula	13,2 semanas de férias	
Vestiários	5%	106	22	4.420
Escritórios	5%	83	21	3.480
Salas de aula	61%	54	5	2.170
Auditório	10%	31	11	1.350
Ginásio	10%	82	25	3.530
Corredores	9%	168	168	8.770

Uma vez que o *retrofit* de iluminação foi aplicado uniformemente a todas as luminárias, a média ponderada das horas de funcionamento anual pela carga estimada para esta escola foi determinada ser 2.996, ou 3.000 arredondando para três dígitos significativos (uma melhor representação do resultado seria $3,00 \times 10^3$).

- » As medições de energia da linha de base foram feitas com um wattímetro trifásico valor eficaz verdadeiro (*true RMS*) recentemente calibrado nos circuitos de iluminação de 347 volts. A partir de uma medida de trinta segundos na entrada de dois transformadores de iluminação, verificou-se que, com todas as luminárias ligadas, a potência total foi de 288 kW. Setenta lâmpadas (= 3 kW ou 1%) estavam queimadas no momento do teste. Foi determinado que a fração queimada no momento desta medição era normal.
- » Como as cargas da iluminação estabelecem a demanda máxima do edifício quando todas as lâmpadas estão acesas, a redução da demanda será estimada ser a mesma que a redução medida da potência nos circuitos da iluminação. As contas da concessionária mostraram uma demanda mais baixa durante as férias de verão, havendo um uso mínimo da instalação durante estes meses. Além disso, considerando que outros equipamentos foram utilizados durante o verão, assumiu-se que a demanda do circuito de iluminação de julho e agosto é de apenas 50% da potência máxima medida.
- » Os preços marginais da concessionária no momento da assinatura do contrato foram CDN \$ 0,063/kWh, CDN \$ 10,85 / kW-mês, e CDN \$ 0,255/m³ de gás.

Resultados

Após a instalação da AEE, a potência do circuito de iluminação foi remeida como no teste da linha de base. A potência foi de 162 kW com todas as luzes acesas, e nenhuma queimada. Com a mesma taxa de queima de 1%, como na linha de base, a potência máxima do período de determinação seria de 160 kW (= $162 \times 0,990$). Portanto, a redução de potência é de $288 - 160 = 128$ kW.

$$\text{Economia de energia} = 128 \text{ kW} \times 3.00 \times 10^3 \text{ h/ano} = 384.000 \text{ kWh/ano}$$

A redução da demanda é de 128 kW para 10,0 meses e 64 kW por 2,0 meses, para um total de 1.410 kW-mês.

O valor da economia com eletricidade estimada pela Opção A do PIMVP é:

$$(384.000 \text{ kWh} \times \$0,0630) + (1.410 \times \$10,85) = \text{CDN } \$ 39.500$$

Supondo que as economias de iluminação são alcançadas uniformemente ao longo de um período de 10 meses, economia de eletricidade em um mês de inverno típico é $384.000/10 = 38.400 \text{ kWh/mês}$. O aumento associado da carga da caldeira é 6,0% desta economia em eletricidade de novembro a março, ou seja:

$$= 6,0\% \times 38.400 \text{ kWh/mês} \times 5,0 \text{ meses} = 12.000 \text{ kWh}$$

A energia extra na entrada da caldeira é:

$$= 12.000 \text{ kWh} / 79\% = 6,0\% \times 38.400 \text{ kWh/mês} \times 5,0 \text{ meses} / 79\% = 15.000 \text{ kWh em unidades equivalentes de combustível na entrada da caldeira}$$

O gás utilizado na caldeira tem um teor energético de $10,499 \text{ kWh/m}^3$, de modo que a quantidade de gás extra é:

$$= 15.000 / 10,499 = 1.400 \text{ m}^3 \text{ gás}$$

O valor do gás extra usado no inverno é $1.400 \times \$0,255 = \text{CDN } \$ 360$. Portanto, a economia líquida total é:

$$\$ 39.500 - \$ 360 = \text{CDN } \$ 39.100$$

5.4. Controle operacional de iluminação: Opção A

Situação

Uma fábrica de malhas no sul da Índia normalmente opera dois turnos por dia. Havia uma ordem permanente para que os supervisores desligassem todas as luzes em cada zona no final do segundo turno. Há 70 interruptores de iluminação. Os supervisores mudam regularmente de turno entre o primeiro e o segundo turnos. Eles habitualmente se esquecem de seu dever de desligar as luzes. O gerente da fábrica realizou um projeto para modificar a iluminação para que os sensores de ocupação acendessem e apagassem as luzes. Ele queria documentar os resultados para mostrar aos supervisores o quão mal eles estavam usando os interruptores de luz.

Fatores que afetam o projeto de M&V

Nenhuma das áreas de produção tinha janelas ou claraboias. Não são aquecidas nem resfriadas. Circuitos de iluminação são integrados com outras cargas elétricas de forma que o uso da iluminação não poderia ser facilmente isolado de outros usos de eletricidade. O gerente da fábrica não queria gastar muito para determinar a economia, mas precisava de um valor crível da economia. O preço da eletricidade para usuários comerciais de médio porte é de 450 p/kWh.

Plano de M&V

Para minimizar os custos de M&V, foi decidido realizar medições de economia por apenas um curto período representativo e usar a Opção A dos “Conceitos Básicos do PIMVP”. Como o objetivo principal da AEE era controlar as horas de iluminação da área de produção, um método baseado em amostragem foi desenvolvido para medir a mudança nas horas de funcionamento. A potência da iluminação foi estimada, a partir de informações dos fabricantes, em 223 kW.

Registradores de iluminação foram colocados aleatoriamente na área de produção para registrar as horas de funcionamento das zonas de iluminação, também escolhidas aleatoriamente. O número de registradores foi escolhido para obter uma precisão geral nas estimativas do período operacional de $\pm 10\%$, com 95% de confiança. Esperava-se que as horas médias de funcionamento antes da instalação dos sensores de ocupação seriam de 125 horas por semana e que o desvio padrão nas leituras seria de 25. Portanto, o cv inicialmente estimado é de 0,20, e o número necessário de amostras (com z de 1,96) é de 15. Como existem apenas 70 zonas, o ajuste da população finita reduz o número estimado necessário de registradores para 12. Assumiu-se que após a instalação de sensores de ocupação o cv seria muito menor para que os 12 registradores estariam adequados.

Não há efeitos interativos desta AEE em outras cargas do edifício porque a planta é não aquecida nem refrigerada. Espera-se que a redução da iluminação noturna torne o edifício mais confortável termicamente no início do turno da manhã.

Resultados

Após um período de um mês, os dados foram coletados dos registradores e as médias de horas de operação semanal computadas para as 12 zonas. O valor médio foi de 115, e o desvio padrão foi de 29. Portanto, o cv foi de 0,24 ($= 29/115$), superior ao valor esperado e pior do que o necessário para atender ao requisito de precisão. Portanto, mais um mês de registro foi realizado. Em seguida, a média das oito semanas de valores médios semanais foi de 118, e o desvio padrão foi de 24 ($cv = 0,20$). Considerou-se uma medida adequada do horário de funcionamento durante o período de linha de base, sem sensores de ocupação.

Os controles com sensores de ocupação foram instalados após o teste de linha de base acima. As horas de funcionamento foram novamente registradas nos mesmos locais por um mês. A média encontrada foi de 82 horas por semana, e o desvio padrão 3 horas. Nessa situação, o cv é 0,04 e está bem abaixo do 0,2 exigido, de modo que as leituras de um mês foram aceitas. Nenhuma alteração aconteceu com a forma como a planta foi usada ou ocupada, então não há necessidade de fazer qualquer ajuste não de rotina nos dados da linha de base.

A redução nas horas de funcionamento foi de $118 - 82 = 36$ horas por semana. As economias foram computadas como:

$$223 \text{ kW} \times 36 \text{ horas/semana} = 8.000 \text{ ou } 8,0 \times 10^3 \text{ kWh/semana}$$

Com 48 semanas de operação todos os anos, o valor anual da economia de consumo é:

$$= (8,0 \times 10^3) \times 48 \times 450 / 100 = \$ 1,7 \text{ milhão}$$

Não há economia de demanda, uma vez que a AEE afeta apenas o uso de energia fora da ponta.

Portanto, de acordo com a Opção A do PIMVP, pode-se afirmar com 90% de confiança que a economia, no mês após a instalação do sensor de ocupação, foi 17 Lakh (1 Lakh = R 100.000 ou R 0,1 milhão) $\pm 10\%$, dada a estimativa de carga de iluminação instalada.

5.5. Eficiência da iluminação pública e dimerização: **Opção B**

Situação

O sistema de iluminação pública de uma cidade croata precisava de reparos e atualizações substanciais. Um novo sistema de iluminação foi instalado na estrutura existente, incluindo luminárias de alta eficiência e um sistema de dimerização que reduz a iluminação em até 50% nas horas mais tranquilas. A iluminação é distribuída por toda a cidade, com 23 pontos de medição. O *retrofit* incluiu a adição de controle centralizado de dimerização. A cidade manteve o executante atual da manutenção da iluminação para projetar, instalar e manter o sistema. A cidade obteve uma garantia de melhoria de desempenho do executante. A cidade exigiu que o executante demonstrasse continuamente a realização das economias garantidas.

Fatores que afetam o projeto de M&V

Os níveis de iluminação da linha de base eram inconsistentes porque 20% das luminárias estavam queimadas. A cidade desejava manter um nível de iluminação mais uniforme. Portanto, ela atualizou seu contrato de manutenção de iluminação pública para especificar que as queimas não representassem mais do que 3,0% a qualquer momento.

Uma vez que a dimerização é fundamental para a economia, é necessário o registro contínuo do consumo de energia. Os 23 medidores da concessionária medem continuamente o consumo de energia. No entanto, esses medidores não podem fornecer o rápido *feedback* operacional necessário para evitar um desperdício significativo de energia se um *dimmer* falhar ou for acidentalmente alterado.

Consequentemente, uma capacidade de registro de energia foi adicionada ao sistema central de controle de dimerização, para registrar remotamente o consumo de energia na estação de controle central da cidade. Além do relatório de energia simples, o sistema compara o consumo de energia por hora real em cada circuito a um perfil horário esperado. Variações deste objetivo são usadas para detectar queimas e falhas do sistema de dimerização.

Plano de M&V

O consumo da linha de base em todos os 23 medidores da concessionária no ano passado totalizou 1.753.000 kWh, valor das contas da concessionária. O número e a localização de todas as luminárias no período da linha de base foram registrados como parte do Plano de M&V, juntamente com os pontos de configuração operacionais do sistema de controle de iluminação.

A energia anual, registrada nas mesmas contas, será totalizada para determinar a economia usando a Opção B dos “Conceitos Básicos do PIMVP”. Os únicos ajustes que serão feitos na linha de base ou no consumo de energia do período de determinação da economia serão para adições ou exclusões no sistema e para queimas que sejam mais de 3% a qualquer momento.

Um ajuste não de rotina foi feito imediatamente para contabilizar a redução da taxa de queima dos 20% do período de base para o valor alvo do período de determinação de 3,0%. A energia da linha de base foi, portanto, ajustada para 2.130.000 kWh ($= 1.753.000 \times 0,970 / 0,800$).

A prefeitura monitorará as taxas de queima mensalmente. Se a taxa de queima for superior a 3,0%, será feito um ajuste não de rotina para levar os dados medidos do período de determinação até a taxa de 3,0% contratada. As economias serão relatadas para a duração do período de garantia de 10 anos usando um preço único de 0,600 kuna/kWh.

Resultados

As economias foram relatadas sem ajuste nos primeiros três anos após a AEE porque as taxas de queima permaneceram abaixo de 3,0%. Para o quarto ano, a taxa de queima foi de 5,0% para 7 meses. As economias do quarto ano foram computadas da seguinte forma:

- » Energia da linha de base = 2.130.000 kWh
- » Energia medida no quarto ano = 1.243.000 kWh
- » Ajuste da taxa de queima = 15.000 kWh

Energia do quarto ano ajustada	$1.243.000 + 15.000$	= 1.258.000 kWh
Economia (energia evitada)	$2.130.000 - 1.258.000$	= 872.000 kWh
Custo evitado	$872.000 \text{ kWh} \times 0,600$	= kn 523.000

5.6. Gerenciamento de vazamento de ar comprimido: **Opção B**

Situação

O departamento de engenharia de uma fábrica de automóveis brasileira estimou que R\$ 200.000 por ano estavam sendo perdidos por meio de vazamentos de ar comprimido decorrentes de má manutenção. O departamento de engenharia convenceu o gerente da fábrica de que o departamento de manutenção deveria dedicar uma pessoa por dois meses para reparar todos os vazamentos. O departamento de engenharia concordou em realizar monitoramento contínuo das taxas de vazamento e economia, a fim de motivar a equipe de manutenção a verificar regularmente os vazamentos.

Fatores que afetam o projeto de M&V

Havia pouco orçamento para a atividade de M&V. Além disso, o departamento de engenharia desejou que qualquer metodologia de medição de economia tivesse um erro quantificável máximo de $\pm 5\%$ em qualquer economia relatada, com um nível de confiança de 95%.

A fábrica opera com dois turnos por dia, 10 por semana e 442 por ano. Quando está operando, o uso do ar comprimido é constante. O calor dos compressores é rejeitado diretamente fora das salas de compressores sem afetar quaisquer outros sistemas de uso de energia da planta.

A tarifa de consumo de eletricidade local (conhecida como a "tarifa verde") para contas comerciais com baixo fator de carga na ponta e acima de 0,5 MW de demanda está na Tabela 9.

Tabela 9. Preços de consumo de eletricidade

	Período seco (Maio - setembro)	Período úmido (Outubro - abril)
Período de ponta (17:30-20:30 horas dias úteis)	R\$0,957/kWh	R\$0,934/kWh
Período fora de ponta	R\$0,143/kWh	R\$0,129/kWh

Os impostos que totalizam 42,9% são adicionados a essas tarifas.

Supôs-se que o impacto na demanda elétrica da planta seria mínimo, uma vez que é provável que não haverá nenhuma mudança no número máximo de compressores que funcionarão durante a operação da planta.

Plano de M&V

O Plano de M&V usou a Opção B dos “Conceitos Básicos do PIMVP” para medição contínua da economia para indicar mudanças nas taxas de vazamento de ar comprimido. A Equação 4 do PIMVP foi usada para ajustar a energia da linha de base às condições do período de determinação da economia. O Plano de M&V teve como objetivo minimizar os custos extras de medição, de modo que um simples wattímetro

trifásico valor eficaz verdadeiro (*true RMS*) foi adicionado ao CCM (centro de controle de motores) que alimenta todos os equipamentos na sala do compressor. Esta fronteira de medição abrangeu seis compressores, três secadores de ar e todos os outros sistemas auxiliares menores. O calor gerado dentro da sala do compressor não é um efeito interativo, uma vez que não afeta quaisquer outros usos de energia. A equipe da fábrica foi instruída a ler o medidor no final de cada turno (ou seja, três vezes por dia) com a planta operando ou não. O medidor foi instalado três meses antes do início das atividades de gerenciamento de vazamentos.

Os fatores estáticos relacionados ao projeto e às operações da planta foram listados, como uma referência para todos os ajustes não de rotina possíveis futuros. Eles incluíram o número, capacidade e padrões de uso de todos os equipamentos movidos a ar comprimido, velocidade da linha de produção e modelos de veículos sendo produzidos.

O período da linha de base de consumo e demanda de eletricidade, para turnos operacionais e não operacionais, foi bastante diferente. Além disso, dentro de qualquer tipo de turno, houve pequenas variações no consumo de energia. Nenhuma variável independente específica pôde ser identificada para explicar as variações. Foi decidido usar o consumo médio de energia de cada tipo de turno no período da linha de base para determinar a economia. Foi estabelecido um critério para determinar quando fossem feitas leituras suficientes por turno para cumprir a meta de incerteza de 95/5 para determinar a economia.

Resultados

Verificou-se que, para atender ao critério de incerteza 95/5, a variação na energia por turnos durante a linha de base exigiu leituras por um período de sete semanas antes da AEE. Os valores de base foram, portanto, estabelecidos como o consumo médio de eletricidade de sete semanas de turnos operacionais e não operacionais.

Observou-se que, após a conclusão da atividade de reparo de vazamentos, houve muito menos variação no consumo de energia por turno no período de determinação. Portanto, a meta de incerteza poderia ser atingida por relatórios mensais de economia.

A economia de energia foi calculada como a diferença entre o consumo real de energia a cada mês subtraída da energia de linha de base ajustada determinada multiplicando o número de turnos reais no mês pelo consumo médio de energia da linha de base para cada tipo de turno.

O preço adequado da eletricidade foi aplicado à economia de consumo, assumindo que as taxas de "período de ponta" da concessionária só se aplicavam a três horas no segundo turno. Nenhuma economia de demanda foi calculada.

Essas medições continuaram como parte das operações normais da planta. O departamento de engenharia ajustou a energia da linha de base periodicamente à medida que os fatores estáticos mudavam. A equipe operacional forneceu leituras de energia de cada turno, e o departamento de engenharia determinou a economia todos os meses. As variações dos padrões de economia anteriores tornaram-se um foco para avaliar as práticas de manutenção relacionadas ao sistema de ar comprimido.

5.7. Melhoria do conjunto turbina/gerador: **Opção B**

Situação

Uma fábrica de celulose usa uma turbina a vapor para gerar grande parte de sua própria eletricidade. Mudanças recentes no processo reduziram o vapor disponível para a unidade geradora da turbina (TG) em relação ao projeto original. Como resultado, a produção de eletricidade e a eficiência térmica da unidade TG foram reduzidas. A fábrica instalou um novo rotor mais eficiente projetado para o novo fluxo de vapor menor. Um processo de medição foi posto em prática para avaliar o aumento da produção elétrica, a fim de se qualificar para um pagamento de incentivo da concessionária de eletricidade.

Fatores que afetam o projeto de M&V

O objetivo da M&V era relatar melhorias na produção de eletricidade. A fábrica reconheceu que a extração de mais energia pela turbina deixou menos energia de vapor para o processo ou exigiu mais energia da caldeira para entregar o mesmo vapor para o processo. Esses efeitos interativos não fizeram parte dessa análise para a concessionária de energia elétrica. O incentivo da concessionária baseou-se exclusivamente no aumento da produção de eletricidade.

Plano de M&V

A fábrica e a concessionária concordaram em usar a Opção B dos “Conceitos Básicos do PIMVP” para determinar o aumento da produção de eletricidade por um período de um ano. A instrumentação existente da planta foi usada para determinar a eficiência do rotor antigo como mostrado na Figura 5.

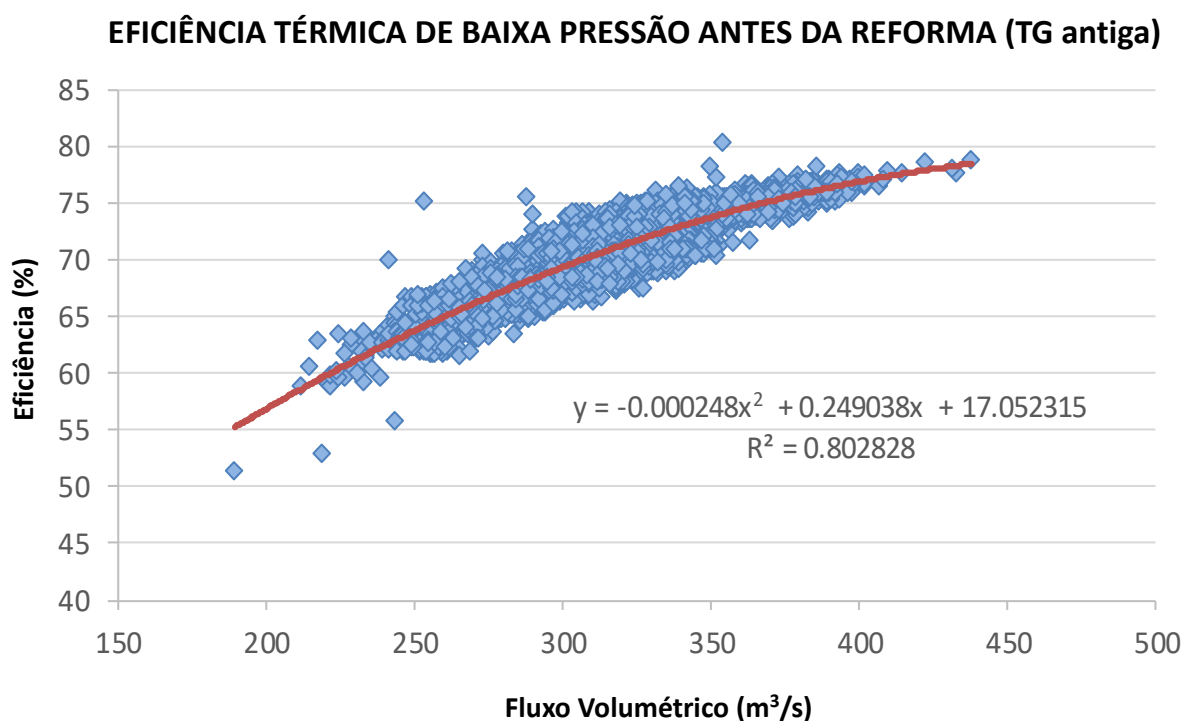


Figura 5. Desempenho do rotor antigo

O modelo matemático que descreve a eficiência da unidade da linha de base foi encontrado pela análise de regressão:

$$\text{Eficiência (\%)} = (-0,000248 \times \text{vazão}^2) + (0,249 \times \text{vazão}) + 17,1$$

Este modelo de eficiência será utilizado com a vazão de vapor do período de determinação de um ano para determinar a produção de eletricidade se usado o antigo rotor. O aumento da produção de eletricidade será relatado nas condições do período de determinação.

Os medidores existentes são calibrados regularmente como parte da manutenção da planta. Eles foram considerados adequados para o propósito da concessionária.

Resultados

Durante um ano após a AEE, as condições de vapor a cada minuto foram aplicadas ao modelo matemático de eficiência do rotor antigo para calcular a energia de linha de base ajustada. Esse valor foi comparado à geração medida para o mesmo período para determinar o aumento da produção elétrica. Nenhuma alteração aconteceu com a unidade TG durante este ano, de modo que ajustes não de rotina não foram necessários.

5.8. Deslocamento de demanda em motor/bomba: **Opção B**

Situação

O sistema de irrigação descrito na 5.1 acima seria igualmente elegível para um incentivo substancial da concessionária se as bombas fossem mantidas desligadas durante os períodos de ponta de 07:00-10:00 e de 18:00-20:00 em todos os dias de semana que não são feriados. O proprietário instalou um sistema de controle baseado em sinal de rádio para controlar remotamente e automaticamente as bombas para implementar essa estratégia de deslocamento de carga. O controle da bomba será redefinido pelo proprietário anualmente de acordo com a programação de feriados do próximo ano.

Fatores que afetam o projeto de M&V

O proprietário acreditava que a redução do bombeamento por um máximo de 25 horas por semana (15%) não seria crítica para sua operação em estações secas. (Ele esperava menos avarias das novas bombas, então não haveria impacto líquido na plantação da estação seca). A concessionária reconhece que o proprietário pode decidir desligar as bombas com base em suas próprias necessidades. Assim, a concessionária exigiu a adesão à Opção B dos “Conceitos Básicos do PIMVP” para fundamentar o desempenho de cada ano, antes de fazer o pagamento de incentivo. O proprietário percebeu que o período de retorno financeiro para o equipamento de controle e monitoramento já era longo. Portanto, ele não queria gastar uma parte significativa do incentivo para fornecer as provas exigidas pela concessionária.

Plano de M&V

A concessionária e o proprietário concordaram que o registro contínuo de uma variável *proxy* daria a evidência em curso de que as bombas estavam desligadas durante cada período de ponta durante todo o ano. A variável *proxy* é a presença de corrente elétrica (além dos 500 mA, necessários pelo equipamento de controle) através de qualquer um dos cinco alimentadores elétricos para as dez bombas. Pequenos sensores de corrente tipo alicate não calibrados e registradores de dados foram instalados em cada alimentador. Os sensores e registradores têm um sistema de energia recarregável de bateria com *backup*. O proprietário contratou o fornecedor dos dispositivos de controle e monitoramento para ler anualmente os dados, verificar as configurações de tempo do registrador e dar um relatório à concessionária das datas e horários de qualquer operação dentro da ponta da concessionária durante a semana.

Resultados

Para o primeiro ano após a implementação do sistema de controle e monitoramento, o agente de monitoramento informou à concessionária que a energia foi utilizada entre 18:00 horas e 20:00 horas em cinco dias úteis específicos. A concessionária verificou esses dias eram todos feriados, então não houve operação durante os períodos de ponta definidos. A redução de demanda foi determinada em 98,2 kW, a partir da medição das novas bombas. O incentivo anual da concessionária foi calculado e pago com base nesta Opção B de 98,2 kW registrados de deslocamento de demanda.

5.9. Acompanhamento da conta de energia da instalação contra o orçamento: **Opção C**

Situação

A gerente de energia de uma cadeia de hotéis foi instada a preparar anualmente um orçamento de energia e rotineiramente monitorar suas variações.

Fatores que afetam o projeto de M&V

A ocupação do hotel, o uso da área de convenções e o clima afetam significativamente o consumo e a demanda de energia. Para dar conta das variações do consumo e da demanda de energia, a gerente de energia percebeu que precisava usar técnicas de M&V para se ajustar a esses fatores significativos.

Plano de M&V

A gerente de energia seguiu a Opção C dos “Conceitos Básicos do PIMVP” para poder explicar as variações de orçamento em relatórios contábeis de gestão. Ela sempre referiu seus orçamentos de energia com base em condições climáticas médias de longo prazo e ocupação do ano anterior.

Resultados

Para contabilizar as variações orçamentárias, assim que um ano foi concluído, a gerente de energia preparou um modelo de regressão do consumo em cada conta da concessionária, usando dados reais de clima e ocupação para o ano atual. Ela então tomou três medidas para determinar separadamente os efeitos significativos das condições meteorológicas, de ocupação e da tarifa da concessionária:

- » **Clima** – Ela inseriu dados meteorológicos normalizados nos modelos do ano mais recente. Usando a tarifa da concessionária real para o ano atual, determinou quanta energia (e custo) teriam sido usados se o clima tivesse sido o normalizado. (Ela também observou o quanto os graus-dia de aquecimento e refrigeração variaram do normal, e do ano anterior, em cada local).
- » **Ocupação** – Ela inseriu os valores de ocupação do ano anterior nos modelos do ano mais recente. Usando a tarifa da concessionária para o ano recente, determinou quanta energia (e custo) teriam ocorrido se a ocupação tivesse sido a mesma que a do ano precedente. (Ela também observou o quanto a ocupação havia mudado de ano para ano em cada local).
- » **Tarifas da concessionária** – Ela aplicou a tarifa da concessionária do ano anterior ao consumo (e demanda) do ano mais recente para determinar quanto da variação orçamentária estava relacionada a mudanças na tarifa para cada concessionária em cada local.

Com o impacto dessas três variáveis conhecidas definidas, a gestora de energia ainda precisava levar em conta as variações remanescentes. Assim, inseriu os fatores do clima e da ocupação do ano recente nos modelos matemáticos do ano precedente, e usando as tarifas atuais, determinou o custo evitado do padrão do ano anterior. Esse custo evitado foi então analisado em relação às alterações nos fatores estáticos registrados para cada local em relação ao registro do ano anterior. Toda a variação restante foi relatada como fenômenos verdadeiramente aleatórios, ou desconhecidos.

Este processo de análise não só permitiu à gestora de energia explicar as variações de orçamento, mas também a informou onde concentrar os esforços para gerenciar variações não contabilizadas. Além disso, permitiu-lhe fazer orçamentos com mais informações para os anos subsequentes.

5.10. Várias AEEs em um edifício sem medidores de energia no período da linha de base: **Opção D**

Situação

Um projeto de eficiência energética foi implementado em um prédio de biblioteca americano, envolvendo sete AEEs abrangendo iluminação, climatização, treinamento de operadores e campanhas de conscientização dos ocupantes. O edifício faz parte de um campus de vários edifícios sem medidores individuais. O objetivo do projeto foi reduzir os custos de energia na biblioteca.

Fatores que afetam o projeto de M&V

Uma vez que o projeto na biblioteca era muito pequeno em relação a todo o campus, seu efeito não poderia ser medido usando os medidores da concessionária do campus. A universidade desejava alcançar economia de energia o mais rápido possível, apesar da falta de um registro de energia de base. A economia deve ser relatada continuamente, o mais rapidamente possível após o *retrofit*, usando os preços então atuais do contrato da energia.

Plano de M&V

Foi decidido não esperar para obter um ano de dados de energia a partir de novos medidores antes de implementar as medidas. Em vez disso, a Equação 15 da Opção D dos “Conceitos Básicos do PIMVP” seria usada, simulando o desempenho anterior à AEE. Portanto, como parte do programa de gerenciamento de energia, medidores de vapor, eletricidade e demanda elétrica foram instalados nas entradas de energia da biblioteca.

A fronteira de medição deste projeto foi definida como todos os sistemas de uso de energia na biblioteca. No entanto, o importante efeito energético foi nos medidores da concessionária do campus. Para transformar a energia medida na biblioteca no seu impacto real sobre as contas da concessionária do campus, as seguintes suposições foram feitas:

- » Uma libra de vapor na biblioteca requer 1,5 pés cúbicos de gás natural no medidor de gás da usina de aquecimento do campus. Há um componente fixo no uso de gás da usina central, decorrente das perdas permanentes do sistema de vapor. O fator de 1,5 pés cúbicos é uma média anual de uso de gás por libra de vapor produzido, aloca uma parcela desta carga base fixa para a biblioteca.
- » O uso de eletricidade na biblioteca requer 3% mais eletricidade no medidor de eletricidade do campus por causa das perdas estimadas de transformadores e distribuição do campus.
- » A demanda elétrica máxima na biblioteca é suposta ser coincidente com a demanda máxima no medidor do campus.

As economias esperadas das AEEs foram previstas por simulação computacional com o *software* do DOE¹⁶ disponível publicamente. Um levantamento completo dos sistemas e ocupação do edifício era necessário para coletar todos os dados de entrada. A potência de cinco sistemas de tratamento de ar de volume variável foi registrada por uma semana para definir alguns dos dados de entrada para o planejamento dessa simulação. A simulação utilizou condições climáticas normais de longo prazo e a ocupação e outras características do edifício que prevaleceram no momento da previsão. Foi decidido relatar economias reais nas mesmas condições.

O contrato de fornecimento de gás da universidade tem um preço unitário marginal de US\$ 6,25/mcf. Há também um nível mínimo de consumo, que é de apenas 5.300 mcf abaixo do uso real de gás durante o período da linha de base. Se o consumo cair em mais de 5.300 mcf, a universidade pagará pelo valor mínimo do contrato. O contrato será renegociado com base nos resultados determinados a partir deste projeto da biblioteca. O preço marginal da eletricidade no medidor do campus é \$0,18/kWh em períodos de ponta, \$0,05/kWh em períodos fora de ponta e a demanda custa \$10,25/kW-mês.

Após o primeiro ano, os dados deste primeiro ano do medidor serão usados como uma linha de base para uma nova abordagem de Opção C para este edifício.

Resultados

As seguintes etapas foram usadas para calcular a economia.

Passo 1

Os novos medidores foram calibrados e instalados. A equipe operacional registrou o consumo e a demanda mensais de energia por 12 meses durante o primeiro ano após o comissionamento da AEE.

Passo 2

Em seguida, o modelo original de simulação foi refinado para refletir: as AEEs instaladas, o clima, a ocupação e os perfis operacionais do período de determinação. A simulação resultante das temperaturas e umidade dos ambientes foi examinada para que refletissem razoavelmente a escala típica de condições internas durante os dias ocupados e desocupados. Inicialmente, o resultado da simulação não correspondeu muito bem ao consumo e à demanda de energia reais, então a equipe de M&V investigou ainda mais o local.

Durante essas investigações adicionais, a equipe descobriu que períodos noturnos desocupados experimentaram muito pouca mudança de temperatura interna. Portanto, eles mudaram as características de massa térmica do modelo de computador. Após essa correção, os resultados mensais modelados foram comparados aos dados mensais de calibração. O maior CV(REMQ) das diferenças foi de 12%, no medidor de demanda elétrica. A universidade sentiu que, como esses valores CV(REMQ) atenderam às especificações do Guia ASHRAE 14, isso poderia dar uma confiança razoável aos resultados relativos de duas rodadas do modelo. Portanto, este "modelo calibrado como construído" foi arquivado, com cópia impressa e eletrônica de dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.

¹⁶ DOE – Departamento de Energia dos Estados Unidos (NT).

Passo 3

O modelo calibrado como construído foi então reexecutado com um arquivo de dados meteorológicos correspondente ao ano normalizado. As estatísticas de ocupação e os fatores estáticos também foram redefinidos para o que havia sido observado durante o período da linha de base. O modelo resultante de "**condições normalizadas pós-AEEs**" foi arquivado, com cópia impressa e eletrônica de dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.

Passo 4

O modelo de condições normalizadas pós-AEEs foi então ajustado para remover as AEEs. Este "**modelo de condições normalizadas da linha de base**" foi arquivado, com cópia impressa e eletrônica de dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.

Passo 5

Os consumos de energia dos dois modelos normalizados foram então comparados para calcular a economia de energia, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10. Economia simulada da biblioteca segundo condições normalizadas

	Modelo da linha de base normalizada	Modelo do período de determinação normalizado	Economia
Consumo na ponta (kWh)	1.003.000	656.000	347.000
Consumo fora de ponta (kWh)	2.250.000	1.610.000	640.000
Demanda (kW-mês)	7.241	6.224	1.017
Vapor (mil libras)	12.222	5.942	6.280

Passo 6

O valor da economia nos medidores do campus foi computado como mostrado na Tabela 11, incluindo a transformação e perdas na linha, e o contrato de valor mínimo de gás.

Tabela 11. Economia no campus

	Economia energia biblioteca	Economia energia campus	Economia energia faturada	Economia monetária (US\$)
Consumo na ponta (kWh)	347.000	357.400	357.400	64.330
Consumo fora de ponta (kWh)	640.000	659.200	659.200	33.000
Demanda (kW-mês)	1.017	1.048	1.048	10.740

	Economia energia biblioteca	Economia energia campus	Economia energia faturada	Economia monetária (US\$)
Vapor e gás	6.280.000 libras vapor	9.420 mcf gás	5.300 mcf gás	33.000
Total				141.000

As economias totais são mostradas para o ano antes da revisão do contrato de gás mínimo.

5.11. Novo edifício mais eficiente que o código local: **Opção D**

Situação

Um novo edifício foi projetado para usar menos energia do que o exigido pelo código de construção local. A fim de se qualificar para um pagamento do incentivo do governo foi exigido que o proprietário mostrasse que o uso da energia do edifício, durante o primeiro ano da operação após o comissionamento e a ocupação completa, era 60% menor do que se construído segundo o código.

Fatores que afetam o Plano de M&V

A simulação computacional foi amplamente usada durante todo o processo de projeto de edifício para ajudar a encontrar um consumo de energia igual a 50% do código de construção.

O edifício foi construído como a nova sede corporativa para uma grande empresa. Esperava-se que o edifício se tornasse totalmente ocupado imediatamente após a abertura.

O proprietário queria usar os mesmos cálculos de economia de energia apresentados ao governo para mostrar a economia monetária como resultado de seu investimento extra em um edifício eficiente. Ele também desejava rever anualmente as variações de seu desempenho energético inicialmente alcançado.

Plano de M&V

A Opção D dos “Conceitos Básicos do PIMVP” será usada para demonstrar a economia do novo edifício em comparação com um edifício idêntico construído segundo os padrões do código de construção. É possível usar a Equação 15 comparando as duas simulações, ou a Equação 16 comparando a energia da linha de base simulada com a energia real após a correção do erro de calibração. O programa de incentivo não especificou qual método deveria ser utilizado. A pessoa que executa a modelagem sentiu que a Equação 15 seria mais precisa. No entanto, o proprietário desejava usar dados reais do medidor da concessionária em sua declaração final de economia, então ele exigiu o uso da Equação 16.

Após o primeiro ano de operação completa ("ano um"), os dados de energia e operacionais do primeiro ano se tornarão a linha de base para uma abordagem segundo a Opção C dos "Conceitos Básicos do PIMVP" para relatar o desempenho contínuo.

Resultados

Um ano após o comissionamento e ocupação total, os dados de entrada da simulação de projeto original foram atualizados para refletir os equipamentos realmente instalados e a ocupação atual. Um arquivo de dados meteorológicos foi escolhido a partir de arquivos meteorológicos disponíveis para a localização do edifício com base na semelhança do total de graus-dia de aquecimento e resfriamento os graus-dia medidos do ano. Este arquivo semelhante foi devidamente ajustado com os graus-dia de aquecimento e resfriamento mensais reais do primeiro ano. Os dados de entrada revisados foram usados para nova rodada da simulação.

Os dados de consumo da concessionária do primeiro ano foram comparados a esse modelo de simulação. Depois de algumas revisões adicionais dos dados de entrada da simulação, considerou-se que a simulação modelou razoavelmente o edifício atual. Esta simulação calibrada foi chamada de "modelo *as-built*".

O erro de calibração no "modelo *as-built*" em relação aos dados reais do medidor da concessionária é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12. Erros mensais de calibração

Mês	Gás	Consumo (kWh)		Demanda (kW)
		Ponta	Fora ponta	
Janeiro	+1%	-2%	+1%	+6%
Fevereiro	-3%	+1%	0%	-2%
Março	0%	-2%	-1%	-5%
Abril	+2%	+3%	+1%	-3%
Maio	-2%	+5%	+2%	+6%
Junho	+7%	-6%	-2%	-9%
Julho	-6%	+2%	0%	+8%
Agosto	+1%	-8%	-1%	+5%
Setembro	-3%	+7%	+1%	-6%
Outubro	-1%	-2%	-1%	+5%
Novembro	+3%	-2%	-1%	-9%
Dezembro	+1%	+4%	+1%	+4%

Os dados de entrada para o "modelo *as-built*" foram então alterados para descrever um edifício com a mesma ocupação e localização, mas que simplesmente atendesse ao padrão do código de construção. Este modelo foi chamado de "modelo padrão".

O uso mensal de energia previsto pelo modelo padrão foi ajustado pelos erros mensais da Tabela 12 para produzir o "**modelo padrão corrigido**". Os dados medidos reais para o primeiro ano foram então subtraídos do "modelo padrão corrigido" para produzir a economia mensal. As economias percentuais foram computadas para provar a elegibilidade para o incentivo do governo.

As economias monetárias foram determinadas para o proprietário aplicando a estrutura da tarifa da concessionária atual completa às quantidades mensais previstas do "modelo padrão corrigido". Esse valor total foi comparado aos custos totais da concessionária para o primeiro ano.

Os dados de energia do primeiro ano formaram a base para uma abordagem de Opção C para os anos subsequentes.

Agradecimentos especiais aos nossos apoiadores institucionais



Agência para a Energia





Efficiency
Valuation
Organization

EVO

Endereço corporativo:

1629 K Street NW, Suite 300
Washington, DC 20006, USA

Telefone:

+1 202-738 4639

Email:

EVO.Central@EVO-world.org

www.evo-world.org