

# **Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance**

**Tradução do:  
International Performance Measurement and Verification Protocol :  
Concepts and Options for Determining Energy Savings  
October, 2000**



**Outubro, 2001**

**Apoio:**

**International Institute for Energy Conservation  
U.S. Agency for International Development**

**Tradução:**

**Fernando de Castro Santos Milanez  
Maria Helena Mendonça de Souza  
Adriana Mesquita**

**Instituto Nacional de Eficiência Energética**

Av. Presidente Wilson, 164, 13º andar  
20030-020 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
Telefone/fax: 55-21-2532 1389  
E-mail: [inee@inee.org.br](mailto:inee@inee.org.br)  
Homepage: <http://www.inee.org.br>

### **Declaração**

Este Protocolo serve como uma base para determinar economias no uso da energia e da água provenientes da implementação de programas de eficiência energética. Ele também se destina a auxiliar no monitoramento do desempenho de sistemas de energia renovável e para aumentar a qualidade ambiental interna em prédios. O PIMVP não cria quaisquer direitos legais ou impõe quaisquer obrigações legais a pessoas ou instituições. Ele não tem autoridade, nem obrigação legal para supervisionar, monitorar ou assegurar acordo de fornecimentos negociados e incluídos em contratos firmados entre pessoas e terceiros. É de responsabilidade de cada uma das partes de um contrato chegar a um acordo sobre o que consta neste Protocolo, sendo que a concordância alcançada deve, por sua vez, constar do contrato.

**Milanez, Fernando; Mendonça de Souza, Maria Helena; Mesquita, Adriana** (Tradutores)

Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance - Brasil, Rio de Janeiro, INEE, Outubro, 2001

1. Verificação de eficiência    2. Contratos de Performance    3. Eficiência Energética

## Índice Resumido

Apresentação Original.....	4
Agradecimentos no Original .....	5
<i>Organizações Participantes</i> .....	5
<i>Comitês do Protocolo</i> .....	6
Prefácio .....	7
Capítulo 1 - Introdução .....	10
Capítulo 2 - A Importância da M&V no Financiamento da Eficiência em Energia e Água .....	17
Capítulo 3 - Conceitos Básicos e Metodologia .....	21
Capítulo 4 - Questões Comuns.....	23
Capítulo 5 - Questões da Medição .....	23
Capítulo 6 - Definições e Referências.....	23
Apêndice A : Exemplos .....	23
<i>Opção A</i> .....	23
<i>Opção B</i> .....	23
<i>Opção C</i> .....	23
<i>Opção D</i> .....	23
Apêndice B : Incerteza .....	23
Apêndice C Técnicas de Medição.....	23

## **Apresentação Original**

Os investimentos em eficiência energética aumentam a produtividade de nossos negócios e fortalecem nossa economia, enquanto, simultaneamente, reduzem a poluição. Até recentemente, entretanto, o financiamento da eficiência energética esteve limitado porque os investidores e as instituições financeiras se ressentiam de uma abordagem confiável para medir e assegurar as economias provenientes dos investimentos. O desenvolvimento do primeiro Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) em 1996 ajudou a superar esta barreira. Esta nova versão, desenvolvida por centenas de organizações e especialistas de mais de 25 países, será uma ferramenta ainda mais efetiva para aumentar os investimentos em eficiência no uso da energia e da água.

Um novo anexo ao Protocolo foi desenvolvido por inúmeros especialistas internacionais que identificaram as oportunidades para reduzir custos com saúde em dezenas de bilhões de dólares por ano. Também é visto como o documento principal de consenso nesta enorme oportunidade para melhorar a qualidade do meio ambiente interno, como parte do aumento da eficiência em prédios. O novo Protocolo também apresenta o consenso das melhores práticas para medição e verificação do desempenho da energia renovável, de modo a aumentar a confiança do investidor no desempenho de longo prazo dos sistemas de energia renovável.

Através deste processo consensual aberto, o Protocolo recebeu um grande apoio do governo e da indústria internacional. Ele se transformou no modelo da indústria nos Estados Unidos e está nos ajudando a tornar nossas instalações federais mais eficientes em energia. O Protocolo é publicado em dez idiomas e está se tornando em modelo industrial em países como o Brasil, Coréia do Sul e Ucrânia. Instituições financeiras, inclusive multilaterais como o Banco Mundial, contam com o Protocolo como uma forma de assegurar a padronização de projetos, a maior confiabilidade nas economias de energia e para aumentar a capacidade em financiar projetos.

Hoje, a falta de reconhecimento do grande potencial de benefícios financeiros decorrente da melhoria da saúde e menor poluição devido a projetos de eficiência e energia renovável é uma falha do mercado. A eficiência energética oferece a melhor oportunidade ao menor custo para reduzir as emissões dos gases do efeito estufa e diminuir o aquecimento global. Devido a sua adoção internacionalmente, o PIMVP tem sido identificado como a melhor base técnica para determinar e assegurar retorno financeiro para as reduções de emissões resultantes de investimentos em eficiência e energia renovável. Empresas americanas, a Corporação Financeira Internacional e outras instituições internacionais estão utilizando o PIMVP para demonstrar a contribuição de projetos que reduzem o aquecimento global.

Agradeço às centenas de pessoas e organizações internacionais que contribuíram voluntariamente com seu precioso tempo para criar e desenvolver o PIMVP. Esperamos continuar com esta parceria de modo que possamos oferecer às nossas crianças um futuro econômica e ambientalmente mais sustentável.

**Bill Richardson**

Secretário de Energia dos Estados Unidos  
19 de outubro de 2000

## **Agradecimentos no Original**

### **Organizações Participantes**

Brasil	Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) Ministério de Minas e Energia
Bulgária	Bulgarian Foundation for Energy Efficiency (EnEffect)
Canadá	Canadian Association of Energy Service Companies (CAESCO) Natural Resources Canada (NRC)
China	State Economic and Trade Commission Beijing Energy Efficiency Center (BECON)
República Tcheca	Stredisko pro Efektivni Vyuzivani Energie (SEVEN7)
Índia	Tata Energy Research Institute (TERI)
Japão	Ministry of International Trade and Industry (MITI)
Coréia	Korea Energy Management Corporation (KEMCO)
México	Comision Nacional Para El Ahorro De Energia (CONAE) Fideicomiso De Apoyo Al Programa De Ahorro De Energia Del Sector Electrico (FIDE)
Polónia	The Polish Foundation for Energy Efficiency (FEWE)
Rússia	Center for Energy Efficiency (CENEF)
Suécia	Swedish National Board for Technical and Urban Development
Ucrânia	Agency for Rational Energy Use and Ecology (ARENA – ECO)
Reino Unido	Association for the Conservation of Energy
Estados Unidos	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Association of Energy Engineers (AEE) Association of Energy Service Professionals (AESP) Building Owners and Managers Association (BOMA) National Association of Energy Service Companies (NAESCO) National Association of State Energy Officials (NASEO) National Realty Association U.S. Department of Energy (DOE) U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

## **Comitês do Protocolo**

Membros do Comitê do Protocolo – cerca de 150 – são diretamente responsáveis pelo conteúdo do Protocolo. Um número aproximadamente igual de especialistas internacionais atuaram como consultores e revisores e, embora não haja espaço suficiente para listá-los aqui, agradecemos sua enorme colaboração e assistência. Os membros do Comitê de Ajustamentos, Qualidade Ambiental Interna, Novos Prédios, Energia Renovável e Água estão listados nos Volumes II e III e no site do PIMVP.

### **Comitê Executivo**

1. Gregory Kats (Presidente), Departamento de Energia, Estados Unidos
2. Jim Halpern, (Vice-Presidente), Measuring & Monitoring Services Inc., Estados Unidos
3. John Armstrong, Hagler Baily Services, Estados Unidos
4. Flavio Conti, Comissão Europeia, Itália
5. Drury Crawley, Departamento de Energia, Estados Unidos
6. Dave Dayton, HEC Energy, Estados Unidos
7. Adam Gula, Polish Foundation for Energy Efficiency, Polônia
8. Shirley Hansen, Kiona International, Estados Unidos
9. Leja Hattiangadi, TCE Consulting Engineers Limited, Índia
10. Maury Hepner, Enron Energy Services, Estados Unidos
11. Chaan-min Lin, Hong Kong Productivity Council, Hong Kong
12. Arthur Rosenfeld, California Energy Commission, Estados Unidos

### **Comitê Técnico**

1. John Cowan (Co-Presidente e Editor Técnico), Cowan Quality Buildings, Canadá
2. Steve Kromer (Co-Presidente), Enron Energy Services, Estados Unidos
3. David E. Claridge, Texas A & M University, Estados Unidos
4. Ellen Franconi, Schiller Associates, Estados Unidos
5. Jeff S. Haberl, Texas A & M University, Estados Unidos
6. Maury Hepner, Enron Energy Services, Estados Unidos
7. Satish Kumar, Lawrence Berkeley National Laboratory, Estados Unidos
8. Eng Lock Lee, Supersymmetry Services Pvt. Ltd., Cingapura
9. Mark Martinez, Southern California Edison, Estados Unidos
10. David McGeown, New Energy, Inc., Estados Unidos
11. Steve Schiller, Schiller Associates, Estados Unidos

### **Comitê de Ajustamentos**

Co-Presidente: Hemant Joshi, Credit Rating Information Services of India Ltd, Índia  
Co-Presidente: Jayant Sathaye, Lawrence Berkeley National Laboratory, Estados Unidos  
Co-Presidente: Ed Vine, Lawrence Berkeley National Laboratory, Estados Unidos

### **Comitê da Qualidade Ambiental Interna**

Presidente: Bill Fisk, Lawrence Berkeley National Laboratory, Estados Unidos

### **Comitê dos Novos Prédios**

Presidente: Gordon Shymko, Tesco Pacific Energy Services, Inc., Canadá

### **Comitê da Energia Renovável**

Co-Presidente: David Mills, University of New South Wales, Austrália  
Co-Presidente: Andy Walker, National Renewable Energy Laboratory, Estados Unidos

### **Comitê da Água**

Co-Presidente: Tom Horner, Water Management Inc., Estados Unidos  
Co-Presidente: Warren Leibold, NYC Depart. of Environmental Protection, Estados Unidos

### **Coordenador Técnico**

Satish Kumar, Lawrence Berkeley National Laboratory, Estados Unidos  
E-mail: [SKumar@lbl.gov](mailto:SKumar@lbl.gov). Telefone: 1-202-646-7953

## Prefácio

**Objetivo e Escopo** O Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) fornece uma visão geral das melhores práticas atualmente disponíveis para verificar os resultados de projetos de eficiência energética, eficiência em água e de energia renovável. Ele também pode ser utilizado por operadores de instalações para avaliar e melhorar o desempenho delas. As Ações para conservação de energia<sup>1</sup> (ACEs)<sup>2</sup> aqui descritas incluem ações para economias de combustível, eficiência no uso d' água, deslocamento de carga e reduções de energia através da instalação de equipamentos ou retrofits e/ou modificação de procedimentos de operação.

O PIMVP não se destina a fixar cláusulas contratuais entre compradores e vendedores de serviços de eficiência, embora ele forneça diretrizes em alguns casos. Uma vez definidos outros termos contratuais, este documento pode auxiliar na seleção da abordagem de *medição e verificação* (M&V) que melhor se aplique: i) custos do projeto e a grandeza das economias, ii) as necessidades tecnológicas específicas, e iii) alocação do risco entre comprador e vendedor, i.e., qual das partes é responsável pelo desempenho dos equipamentos instalados e quem é responsável por alcançar as *economias de energia* a longo prazo.

Dois aspectos para verificar o desempenho das ACEs estão incluídos neste documento:

- Técnica para determinar as economias utilizando os dados disponíveis com qualidade adequada.
- Divulgação de dados e análises, de modo que uma das partes determine o desempenho das economias e a outra faça a verificação.

### Estrutura do PIMVP

Com base em extenso feedback dos usuários, esta versão apresenta maior consistência interna, definição mais precisa das Opções para M&V e tratamento de questões adicionais, descritas abaixo. São apresentadas diretrizes adicionais sobre como seguir o PIMVP. Esta edição está dividida em três volumes separados:

Volume I Conceitos e Opções para Determinar Economias  
Volume II Questões sobre Qualidade Ambiental Interna (QAI)  
Volume III Aplicações

O Volume I define a terminologia básica, útil no campo da M&V. Define procedimentos gerais para se chegar à determinação de economias confiáveis e de custo efetivo. Tais definições podem então ser utilizadas para cada projeto, com o auxílio de outros recursos (ver Capítulo 1.4 e Capítulo 6.2). A *verificação* das economias é então feita com relação ao plano de M&V para o projeto. Este volume se destina a aplicação geral para medir e verificar o desempenho de projetos de melhoria da eficiência nos usos da energia e d'água em edifícios e plantas industriais.

O Volume I foi amplamente delineado sobre a edição do PIMVP de dezembro de 1997. À parte de um re-enfoque geral do documento para proporcionar maior clareza, as definições das Opções A e B foram modificadas significativamente, em resposta às reações recebidas quanto às edições anteriores. Estas mudanças agora incluem medições de campo necessárias a pelo menos algumas variáveis da Opção A e a todas da Opção B. No Anexo A foram incluídos exemplos de cada uma das Opções para M&V. As seções anteriores sobre M&V em novos prédios, eficiência no uso residencial da energia e no uso d'água foram transferidas para o volume III. O texto

---

<sup>1</sup> Embora haja certa controvérsia entre os dois termos – ação para conservação de energia (ACE) e ação para eficiência energética (AEE) – eles foram utilizados alternadamente neste documento.

<sup>2</sup> Os termos em itálico estão definidos no Capítulo 6.1.

foi atualizado e a linguagem foi ajustada para permitir maior consistência técnica e facilidade de uso.

O Volume II revê questões de qualidade ambiental interna, uma vez que podem ser influenciadas por um projeto de eficiência energética. Chama a atenção para questões de medição e desenvolvimento de projeto e práticas para implementação associadas com a manutenção de condições internas aceitáveis num projeto de eficiência energética, enquanto recomenda elementos chaves relacionados a M&V e *contratos de performance (desempenho) de energia*. A publicação deste volume está prevista para ser simultânea à do Volume I.

A publicação do Volume III está prevista para início de 2001 e reflete a orientação e a contribuição de mais de 100 especialistas internacionais. Ele revisará questões específicas de M&V. Destina-se a questões específicas sobre M&V relativas a projetos em processos industriais, novos prédios, energia renovável, eficiência no uso d'água e certificados de emissão. Espera-se que este volume seja uma área de contínuo desenvolvimento, à medida que sejam definidas aplicações mais específicas.

## **Tópicos Novos**

O PIMVP 2000, em três volumes, introduz tópicos novos de M&V para manutenção da qualidade ambiental interna de prédios (Volume II) e para projetos de energia renovável (Volume III), conforme resumido abaixo.

**Qualidade Ambiental Interna** – Muitas ações para conservação de energia em prédios têm o potencial de afetar positiva ou negativamente as concentrações poluentes internas, condições de conforto térmico e qualidade da iluminação. Estas e outras características ambientais internas, que são genericamente referidas como qualidade ambiental interna (QAI), podem influenciar a saúde, o conforto e a produtividade dos ocupantes de um prédio. Mesmo pequenas alterações na saúde e na produtividade podem ser financeiramente significativas, às vezes excedendo os benefícios financeiros provenientes da conservação de energia. Estes benefícios provenientes de melhorias na QAI podem servir de estímulo a investimentos em eficiência energética. É importante que estas considerações sobre QAI sejam explicitamente reconhecidas anteriormente à seleção e implementação de ações para eficiência energética em prédios. O Volume II apresenta informações que auxiliarão os profissionais de conservação de energia, proprietários de prédios e gerentes na manutenção ou na melhoria da QAI quando implementarem ações de eficiência energética em prédios não industriais, comerciais e públicos. Este documento também descreve medidas práticas de QAI e ventilação que podem ajudar os profissionais desta área a manter ou melhorar a QAI.

O Volume II representa o esforço consensual de aproximadamente 25 membros de comitês de 10 países. O trabalho final foi então minuciosamente revisado por cerca de 40 especialistas internacionais, cujos comentários e sugestões foram incorporados ao documento final.

**Energia Renovável** – A seção sobre energia renovável, que será parte do Volume III, apresenta uma descrição das Opções de M&V para renováveis no âmbito da estrutura do PIMVP com exemplos e recomendações para aplicações específicas. O termo “energia renovável” se refere a fontes de energia que são restauradas pela natureza e sustentáveis no fornecimento. Exemplos de energia renovável incluem solar, eólica, biomassa (bagaço de cana, palha de arroz, etc., energia de resíduos e aterros sanitários) e energia geotérmica. As estratégias para a M&V de renováveis são importantes para projeto e *comissionamento*, servindo de base para pagamentos e para fornecer diagnósticos. Além disso, uma M&V eficaz pode auxiliar na redução dos custos da transação ao dar confiança aos incorporadores, investidores, mutuantes e clientes em relação ao valor dos projetos e à alocação do risco. A seção descreve como as diferentes Opções de M&V podem ser aplicadas a sistemas de energia

renovável e apresenta vários exemplos.

As características únicas dos sistemas de energia renovável requerem técnicas de M&V distintas daquelas aplicadas aos projetos de eficiência energética. A energia renovável é geralmente capital intensiva e algumas fontes, como o vento, contam com recursos intermitentes, necessitando de procedimentos especiais para medir os efeitos no sistema de energia integrado – incluindo avaliação e redundância. Muitos dos benefícios das renováveis são externos à avaliação convencional e técnicas contábeis. Um protocolo sólido para medição do desempenho e quantificação dos benefícios únicos dos sistemas de energia renovável pode ser uma valiosa forma de reconhecimento dos reais benefícios das atuais técnicas de avaliação e contabilização.

A seção representa o esforço consensual de 65 membros de comitês de 20 países.

### **Trabalho Futuro**

O PIMVP é mantido com o patrocínio do Departamento de Energia dos Estados Unidos, por uma grande coalizão internacional de clientes/operadores, financiadores, empreiteiros ou *Empresas de Serviços em Conservação de Energia* (ESCOs) e outros depositários. O contínuo desenvolvimento internacional e a adoção do PIMVP envolverão uma maior e crescente participação internacional e o gerenciamento do documento, assim como sua tradução e adoção por um número cada vez maior de idiomas e aplicação por muitos mais países.

Como um documento vivo, cada nova versão do PIMVP incorpora mudanças e melhorias, refletindo o resultado de novas pesquisas, metodologias e dados de M&V. Ao mesmo tempo, o protocolo reflete um grande consenso internacional e a grande maioria de seu trabalho é realizada por especialistas que oferecem voluntariamente seu tempo para servir aos comitês. Por favor, informe-nos como o PIMVP pode ser melhorado ou ampliado – ele é atualizado e publicado novamente a cada dois anos.

Os interessados na revisão do progresso do PIMVP e documentos pertinentes devem procurar o endereço [www.ipmvp.org](http://www.ipmvp.org). O site do PIMVP tem o conteúdo novo e/ou modificado, revisões provisórias do protocolo existente e rascunhos das revisões, assim que são preparadas. Atualmente, o site do PIMVP dispõe de links para muitas organizações aqui referidas, arquivos de e-mails contendo o rascunho das reuniões e toda a correspondência trocada entre os membros dos diversos comitês e informações para contatos com muitas pessoas associadas ao protocolo.

## Capítulo 1 - Introdução

- 1.1- Panorama
- 1.2- Por que Medir e Verificar?
  - 1.2.1- Papel do Protocolo
  - 1.2.2- O Público para o Protocolo
- 1.3- O Papel do PIMVP na Atenuação das Mudanças do Clima Internacional
- 1.4- Relacionamento com os Programas Americanos
  - ASHRAE Diretriz 14
  - Programa Federal de Gerenciamento de Energia
  - Programas Estaduais para Contratos de Desempenho
  - Iniciativas para Avaliação Ambiental em Prédios

### 1.1 Panorama

A eficiência energética oferece a maior e melhor oportunidade de custo efetivo para os países industrializados e para os em desenvolvimento para limitar os enormes custos financeiros em saúde e meio-ambiente associados à queima de combustíveis fósseis. Os investimentos de custo efetivo disponíveis para eficiência nos usos de energia e água são globalmente estimados em dezenas de bilhões de dólares por ano. Entretanto, o nível atual de investimento é muito menor, representando apenas uma fração das oportunidades financeiramente atrativas existentes para investimentos em economias de energia. A título de concisão, ao longo deste documento os termos “energia” e “economias de energia” representam os usos de energia e de água. Embora haja diferenças entre ações para eficiência energética e ações para eficiência em água, elas têm muitos atributos comuns e freqüentemente fazem parte do mesmo projeto.

Se todos os investimentos de custo efetivo em eficiência fossem feitos nos edifícios públicos e comerciais americanos, os dispêndios com projetos em eficiência quase triplicariam e dentro de uma década resultariam em economias de \$ 20 bilhões por ano com os custos de energia e água, gerariam mais de 100.000 empregos permanentes e diminuiriam significativamente a poluição. Para os países em desenvolvimento com rápido crescimento econômico e aumento do consumo de energia, o projeto eficiente de energia e água oferece uma forma muito efetiva de controlar os altíssimos custos de construção de usinas elétricas e de tratamento de água, enquanto limitam despesas futuras com importações de energia e os danos decorrentes à saúde e ao meio-ambiente e custos resultantes da queima de combustíveis fósseis.

Estas oportunidades em eficiência e seus benefícios inerentes inspiraram o Departamento de Energia americano, no início de 1994, a começar a trabalhar junto à indústria para chegar a um consenso sobre medição e verificação dos investimentos em eficiência, de modo a superar as barreiras existentes em relação a ela. O Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP), (é, algumas vezes, também chamado de PMV), foi publicado inicialmente em 1996 e continha metodologias que foram reunidas por um comitê técnico composto por centenas de especialistas da indústria, inicialmente dos Estados Unidos, Canadá e México.

Em 1996 e 1997, vinte empresas nacionais de 12 países trabalharam em conjunto para revisar, ampliar e publicar uma nova versão do PIMVP em dezembro de 1997. Esta segunda versão foi amplamente adotada internacionalmente e tornou-se o documento padrão para M&V em países como o Brasil e a Romênia. Segundo Mykola Raptsun, então Presidente do Comitê da Ukraine Energy Conservation e atual Presidente da ARENA-ECO, o centro ucraniano da eficiência energética:

*O PIMVP tem grande aplicação para homens de negócios, gerentes de energia, legisladores e educadores e pode se tornar o documento padrão nacional para M&V. Tem sido importante para ajudar no crescimento da indústria da eficiência energética na Ucrânia.*

As empresas de serviços de energia americanas adotaram o PIMVP como padrão da indústria para medição e verificação (M&V).

Segundo Steve Schiller, Presidente da Schiller Associates, uma empresa líder de consultoria:

*[Nos Estados Unidos] a referência ao PIMVP tornou-se um requisito essencialmente associado ao desenvolvimento de projetos e programas para contratos de desempenho em eficiência energética. Quase todas as empresas de contratos de desempenho estabeleceram que seu trabalho se baseia no PIMVP ... Assim, em poucos anos, ele se transformou no protocolo de-facto para medição e verificação de contratos de desempenho.*

Instituições como o Banco Mundial e a International Finance Corporation (IFC) julgam o Protocolo útil e estão incorporando-o como parte de novos projetos de eficiência energética. Segundo Russell Sturm, Gerente de Projetos Senior, Unidade de Projetos Ambientais da International Finance Corporation:

*“Em nosso trabalho na Unidade de Projetos Ambientais da IFC, buscamos investimentos nos mercados das novas ESCOs das economias em desenvolvimento e em transição no mundo. Enquanto estes mercados são promissores, os desafios em direção à viabilidade comercial são enormes. O PIMVP contém a base necessária para criar credibilidade para esta nova indústria, ajudando-nos a estabelecer um nível de conforto entre os participantes locais, o que é essencial para maior aceitação no mercado”.*

O PIMVP foi traduzido para o búlgaro, chinês, tcheco, japonês, coreano, polonês, português, romeno, russo, espanhol e ucraniano. Versões traduzidas em alguns desses idiomas estão disponíveis no site [www.ipmvp.org](http://www.ipmvp.org).

Como resultado de um enorme interesse, a participação no desenvolvimento desta terceira edição expandiu-se para incluir uma rede global de profissionais de todo o mundo e inclui organizações de 16 países e centenas de especialistas de mais de 25 nações. O trabalho foi rascunhado por voluntários a serviço de comitês compostos por especialistas internacionais líderes em seus respectivos campos de atuação. A responsabilidade geral e a direção são do Comitê Executivo, composto por 12 especialistas internacionais que compartilham o objetivo de fortalecer e fomentar o rápido crescimento das indústrias de eficiência energética e eficiência no uso d'água. O nosso Subcomitê Consultivo Financeiro ajudou a assegurar que este documento seja útil à comunidade financeira, facilitando e aumentando o financiamento de investimentos em eficiência.

## **1.2 Por que Medir e Verificar?**

*“Não se pode gerenciar o que não se mede” – Jack Welsh, da General Electric.*

Quando as empresas investem em eficiência energética, seus executivos naturalmente desejam saber o quanto economizaram e quanto tempo as economias vão durar. A determinação das economias em energia requer medição precisa e metodologia reprodutível, conhecida como protocolo de medição e verificação.

O sucesso a longo prazo dos projetos de gerenciamento de energia e água geralmente é dificultado pela inabilidade dos parceiros no projeto em concordarem com um plano de M&V preciso e bem sucedido. Este protocolo de M&V discute os procedimentos

que, quando implementados, permitem aos compradores, vendedores e financiadores de projetos de energia e água concordarem com um plano de M&V e quantificarem as economias provenientes das Ações para Conservação de Energia (ACE) e das Ações para Conservação de Água (ACA).

Assim colocado, a finalidade do PIMVP é aumentar os investimentos em eficiência energética e energia renovável. O PIMVP faz isto pelo menos em seis maneiras:

**a) Aumentar as economias em energia**

A determinação precisa das economias propicia aos clientes e administradores um *feedback* valioso para a operação de suas instalações, permitindo-lhes ajustes na administração que levem a maiores níveis de economias de energia, maior durabilidade e redução da variabilidade das economias. Um conjunto crescente de dados mostra que melhor medição e verificação resulta em níveis significativamente maiores de economias, maior durabilidade ao longo do tempo e menor variabilidade das economias (Kats et al. 1997 e 1999. Habert et al. 1996). Isto faz sentido, logicamente, uma vez que medições em tempo real em variados pontos oferecem uma possante ferramenta para diagnóstico aos gerentes de prédios, que lhes permite compreender melhor, monitorar e ajustar os sistemas de energia de modo a aumentar e manter as economias. Isto vai de encontro à experiência dos Programas Federais de Gerenciamento de Energia americanos e reflete o extensivo trabalho de *medição*<sup>3</sup> de longo prazo realizado no programa da Texas A&M University Loan Star (Claridge et al. 1996). Maior durabilidade e menor variabilidade podem proporcionar a base técnica para remunerar projetos de eficiência energética que empregam técnicas avançadas de M&V para determinar as economias de energia.

**b) Reduz o custo de financiamento dos projetos**

No início de 1994, nossos consultores financeiros mostraram-se preocupados com os protocolos existentes (e aqueles em desenvolvimento), que criavam uma miscelânea de inconsistentes e às vezes não confiáveis práticas para instalação e medição eficientes. Esta situação reduzia a confiabilidade e o desempenho dos investimentos em eficiência e aumentava os custos de transação do projeto e impedia o desenvolvimento de novas formas para reduzir o custo dos financiamentos. O PIMVP é a resposta a esta situação: ele fornece orientação e informações sobre gerenciamento de risco úteis para a estruturação de contratos de financiamento.

Ao proporcionar economias maiores e mais confiáveis e uma abordagem comum para determinar as economias, a adoção maciça deste Protocolo já tornou mais confiáveis e rentáveis os investimentos em eficiência e favoreceu o desenvolvimento de novos tipos de redução do custo de financiamentos. Ao definir mais claramente projetos e métodos de M&V geralmente aceitos, este Protocolo oferece confiança às instituições financeiras quanto à determinação das economias e à medição do desempenho. Isto se torna então a segurança que respalda o financiamento. Se um nível de confiança puder ser alcançado, a porta poderá ser aberta para os financiamentos “fora do balanço”, onde o débito do projeto não aparece na linha de crédito da instalação hospedeira – historicamente o maior obstáculo à implementação de projetos de eficiência energética.

O PIMVP é parte importante da equação de crédito para a maioria dos tomadores de empréstimos, uma vez que ele fornece um mecanismo estável e independente para determinar economias em energia. Por exemplo, o Escritório de Eficiência Energética e Energia Renovável do Departamento de Energia americano, em parceria com o Virginia’s Commonwealth Competition Council, e New Jersey-based M/A Structured

---

<sup>3</sup> Os termos em itálico estão definidos no Capítulo 6.1.

Finance Corp., desenvolveu um programa piloto de 50 milhões de dólares para o financiamento conjunto de 12 projetos de eficiência energética em escolas e colégios públicos e universidades. O objetivo do programa é fornecer métodos para obtenção de financiamento fora de balanço para estes projetos do setor público. As diretrizes do PIMVP permitiram a participação de instituições financeiras para auxiliar a base para as economias de energia, uma consideração importante em financiamentos fora de balanço. O PIMVP fornece a confiabilidade e a padronização que permitem a essas instituições o aumento de recursos para o financiamento de um conjunto de futuras economias de energia em instituições acadêmicas com empréstimo “fora de balanço”.

**c) Encoraja melhores projetos de engenharia**

Uma vez que boas práticas de M&V estão intimamente ligadas a bons projetos de retrofits, os procedimentos do PIMVP sobre M&V encorajam bons projetos de gerenciamento de energia. Um bom plano de M&V e o progresso do *monitoramento* do desempenho ajudarão a criar projetos que funcionem efetivamente para proprietários e usuários dos espaços e processos afetados. Bons métodos de gerenciamento de energia ajudam a reduzir problemas de manutenção em instalações, permitindo-lhes trabalhar com eficiência. Dentre as melhorias que podem ser observadas por um plano de engenharia para ACEs é um aumento da qualidade interna do ar nos espaços ocupados.

**d) Ajuda a demonstrar e apreender o valor das emissões reduzidas por meio de investimentos em eficiência energética e energia renovável**

As emissões reduzidas devido a projetos de eficiência incluem CO<sub>2</sub>, o gás primário do efeito estufa (que causa o aquecimento global), o SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e o mercúrio. A não inclusão do custo benefício destas emissões tem distorcido as sinalizações de preços e mercado e tem resultado num má alocação de investimentos em energia e tem evitado uma estratégia de investimentos em energia mais racional e de custo efetivo em todo o mundo. A determinação do nível de redução de poluentes necessita de habilidade para estimar com confiabilidade os efeitos das economias de energia.

O PIMVP fornece uma estrutura para calcular as reduções de energia antes (base) e após a implementação dos projetos. O PIMVP pode ajudar a alcançar e documentar as reduções das emissões decorrentes de projetos que diminuem o consumo de energia e ajudam no sentido de que os investimentos em eficiência energética sejam reconhecidos como uma estratégia para gerenciamento de emissões. Tal perfil também ajudará a atrair recursos para projetos de eficiência energética através da venda de créditos de emissões comprovados.

**e) Aumenta a compreensão sobre o gerenciamento de energia como uma ferramenta de política pública**

Através da melhoria da credibilidade dos projetos de gerenciamento de energia, a M&V aumenta a aceitação pública das atividades relacionadas. Isto encoraja os investidores a aplicarem em projetos de eficiência energética ou nos créditos de emissões que eles possam criar. Aumentando as economias, a boa prática de M&V também chama mais atenção para os benefícios públicos oferecidos pelo bom gerenciamento da energia, como melhoria da saúde da comunidade, redução da degeneração ambiental e aumento de empregos.

**f) Auxilia as organizações nacionais e industriais a promoverem e alcançarem eficiência nos recursos e objetivos ambientais**

O PIMVP está sendo muito adotado por agências governamentais nacionais e

regionais e por organizações industriais e comerciais para auxiliar no aumento de investimentos em eficiência energética e para alcançar benefícios ambientais e de saúde. O Capítulo 1.4 dá exemplos de como o PIMVP é utilizado por várias instituições num país – os Estados Unidos.

### 1.2.1

#### **Papel do Protocolo**

Este Protocolo:

- Fornece aos compradores, vendedores e financiadores de projetos de eficiência energética um conjunto de termos comuns para discutir questões chaves de projetos de M&V e estabelece métodos que podem ser utilizados em contratos de desempenho de energia.
- Define as técnicas para determinar as economias de “toda a instalação” e de uma tecnologia particular.
- Aplica-se a uma variedade de instalações incluindo prédios residenciais, comerciais, institucionais e industriais e processos industriais.
- Fornece um resumo de procedimentos que: i) podem ser aplicados a projetos similares em todas as regiões geográficas e ii) são internacionalmente aceitos, imparciais e confiáveis.
- Apresenta procedimentos com diferentes níveis de exatidão e custo para medição e/ou verificação: i) condições da base e instalação do projeto e ii) economias de energia a longo prazo.
- Fornece uma abordagem abrangente para assegurar que as questões de qualidade ambiental interna do prédio sejam verificadas em todas as fases do plano de Ação, implementação e manutenção.
- Cria um documento vivo que inclui um conjunto de metodologias e procedimentos que permitem que ele evolua com o tempo.

### 1.2.1

#### **O Público para o Protocolo**

O público alvo para este Protocolo inclui:

- Gerentes de energia de instalações
- Incorporadores de projeto e/ou implementadores
- ESCOs (Empresas de Serviços em Conservação de Energia)
- WASCOS (Empresas de Serviços em Conservação de Água)
- Organizações não-governamentais (ONGs)
- Instituições financeiras
- Consultores
- Redatores de políticas governamentais
- Executivos de concessionárias
- Gerentes ambientais
- Pesquisadores

### 1.3

#### **O Papel do PIMVP na atenuação das mudanças climáticas internacionais**

Os esforços internacionais para reduzir as emissões dos gases do efeito estufa têm também aumentado a necessidade de ferramentas padronizadas como o PIMVP para medir os benefícios econômicos e ambientais de custo efetivo dos projetos de eficiência energética. A grande maioria dos cientistas climáticos concluiu “que o saldo da evidência sugere que as atividades humanas têm uma influência visível no clima global” (IPCC, 1995). Em resposta ao apelo da comunidade científica no sentido de reduzir as emissões dos gases do efeito estufa (inicialmente aquelas provenientes dos combustíveis fósseis), as nações industrializadas recentemente se comprometeram em aceitar metas e cronograma de emissões. Os flexíveis mecanismos de mercado para reduzir as emissões dos gases do efeito estufa estão incluídos no Protocolo de Kyoto para a Framework Convention on Climate Change (FCCC) das Nações Unidas tornam mais urgente a necessidade de um consenso internacional sobre o protocolo de M&V.

Recentemente, o Lawrence Berkeley National Laboratory desenvolveu diretrizes destinadas ao monitoramento, avaliação, relatórios, verificação e certificação de projetos de eficiência energética para atenuar as mudanças climáticas (Vine e Sathaye, 1999). O estudo do Laboratório determinou que o PIMVP é a abordagem

internacional preferida para monitorar e avaliar projetos de eficiência energética, devido a sua aceitação internacional, por cobrir muitas questões chaves do monitoramento e avaliação e porque dá flexibilidade.

O Comitê de Ajustamentos do PIMVP trabalhará durante 2000 para chegar a um consenso sobre implementação, medição e verificação dos investimentos em eficiência energética para alcançar o que foi acordado sobre as estimativas de economias de energia futuras e redução de emissões. Ao chegar a um acordo sobre estas questões, este comitê dará uma necessária e importante contribuição no sentido de estabelecer uma estrutura sobre a qual possa ser construída a comercialização internacional de gases do efeito estufa. Para mais informações, contatar Ed Vine ([elvine@lbl.gov](mailto:elvine@lbl.gov)).

#### **1.4 Relacionamento com os Programas Americanos**

O PMV destina-se a incluir uma abordagem estrutural que complemente mais detalhadamente diretrizes nacionais ou regionais sobre eficiência energética em qualquer país em que esteja sendo utilizado. A seguir, alguns exemplos nos Estados Unidos.

#### **ASHRAE Diretriz 14**

O PIMVP é complementado pelo trabalho da American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) na forma de suas Diretrizes 14P Medições das Economias de Energia e Demanda. Em contraste com o documento ASHRAE, que enfoca um nível muito técnico, o PIMVP estabelece uma estrutura geral e terminologia para auxiliar compradores e vendedores de serviços de M&V. A Diretriz 14 da ASHRAE teve sua primeira versão pública e, conseqüentemente, esteve disponível por um período em meados de 2000. Espera-se que a Diretriz da ASHRAE esteja completamente disponível em 2001. Recomenda-se que o leitor utilize a ASHRAE ou outro documento relevante, bem como outros aqui citados, para formular um Plano de M&V bem sucedido.

#### **Programa Federal de Gerenciamento de Energia**

O Programa Federal de Gerenciamento de Energia (FEMP) do Departamento de Energia americano foi estabelecido em parte para reduzir os custos de energia do governo relativos às instalações federais em operação. O FEMP dá assistência aos gerentes federais de energia na identificação e obtenção de projetos de conservação de energia.

As Diretrizes de M&V do FEMP seguem o PIMVP e fornecem orientação e métodos para medição e verificação das economias de energia e custos associadas aos contratos de desempenho das agências federais. Destina-se aos gerentes de energia federais, funcionários federais e empreiteiros implementadores de contratos de desempenho em instalações federais. Auxilia na escolha de métodos de M&V que forneçam um nível de precisão adequado para proteção do investimento no projeto. A Diretriz tem dois usos principais:

- Serve como documento de referência para especificar os métodos de M&V e os procedimentos para ordens de fornecimento, pedidos de propostas (PDPs) e contratos de desempenho.
- É um recurso para aqueles que estão desenvolvendo planos de projetos específicos de M&V para contratos de desempenho federais.

A primeira Diretriz foi publicada em 1996, uma nova versão saiu em 2000, a versão 2.2, e contém as seguintes atualizações em relação a 1996:

- Uma discussão sobre as questões de responsabilidade nos contratos de desempenho e como elas afetam a alocação do risco.
- Diretrizes rápidas de M&V incluindo sumários de procedimentos, conteúdo de listas de verificação e quadros sumários de opções.
- Diretrizes específicas de medição para determinar a *Opção de M&V* mais apropriada para medições comuns.

- Novas estratégias e métodos de M&V para cogeração, novas construções, operação e manutenção, sistemas de energia renovável e projetos para conservação de água.

Além de ser um requisito para investimentos em eficiência em prédios federais americanos, as Diretrizes fornecem um modelo para desenvolver uma aplicação específica do PIMVP. Para conseguir uma cópia das Diretrizes, ligue 800-DOE-EREC.

**Programas  
Estaduais  
para Contratos de  
Desempenho**

Muitos estados americanos incorporaram o PIMVP como uma parte importante em diversos de seus programas de eficiência energética e serviços para clientes comerciais, industriais e institucionais. Usam o PIMVP como base para determinar as economias de energia em contratos de desempenho. O PMV tem sido útil na padronização da métrica dos projetos de desempenho e tornou-se um componente importante para facilitar maior aceitação de que os contratos de desempenho podem reduzir os custos de transação do setor privado. Ele tem ajudado a cortar custos de transação, a melhorar o desempenho de projetos e é importante para assegurar financiamentos de custo baixo para nossos programas. Muitos estados pedem que Planos de M&V sejam desenvolvidos para projetos com recursos do Standard Performance Contract Program. O programa En Vest do Estado de New York, por exemplo, está estruturado para ser compatível com o PMV e o New York State Energy Research & Development Authority (NYSERDA) recomenda enfaticamente o seu uso em projetos institucionais.

Outros estados que incorporaram o PMV nos seus contratos de desempenho de energia e outros programas de eficiência energética são a Califórnia, Colorado, Oregon, Texas e Wisconsin.

**Iniciativas para  
Avaliação  
Ambiental em  
Prédios**

O PIMVP está sendo incorporado ao U.S. Green Building Council's (USGBC) Leadership in Energy and Environmental Design (LEED™) Rating System, que está se tornando rapidamente o padrão nacional de projetos de prédios verdes.

O Programa USGBC-LEED™ fornece um sistema abrangente de avaliação de prédios verdes. Para ser avaliado, um prédio deve tomar várias medidas, inclusive o PIMVP, para medir a eficiência em energia e água. Eles são então avaliados por uma série de aspectos ambientais e de ciclo de vida para determinar se o edifício alcança um dos níveis de desempenho LEED™. Os candidatos recebem um ponto se estiverem de acordo com o PIMVP. Para mais informações, visitar o site [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org).

## Capítulo 2 - A Importância da M&V no Financiamento da Eficiência em Energia e Água

- 2.1- Financiamento da Eficiência no uso da energia e da água
- 2.2- Definição e o Papel dos Contratos de Desempenho
- 2.3- Avaliação do Risco Financeiro
  - 2.3.1- Capacidade de Pagamento
  - 2.3.2- Riscos de Construção
  - 2.3.3- Riscos de Desempenho

### **2.1 Financiamento da Eficiência em Energia e Água**

A chave para abrir o enorme potencial para projetos de eficiência mundial em energia e água no mundo é assegurar financiamento. Boas práticas de medição e verificação são alguns dos elementos importantes para fornecer a confiabilidade necessária para assegurar recursos para projetos. Assegurar financiamentos necessita de confiança em que os investimentos em eficiência energética resultarão numa cadeia de economias suficientes para o pagamento dos débitos. As práticas de medição e verificação permitem que os riscos do desempenho do projeto sejam entendidos, gerenciados e alocados entre as partes.

É importante que cada Plano de M&V descreva claramente as tolerâncias associadas aos métodos de medição e determinação das economias. Pode haver variações significativas nas tolerâncias no âmbito de cada uma das opções de medição apresentadas neste protocolo. Aconselha-se aos usuários compreender os prós e os contras de cada opção e a tolerância de cada método de medição proposto. Cada participante está então equipado para tomar uma decisão de negócio apropriada sobre o risco e o retorno de um investimento.

Os projetos de uso eficiente de energia e de água têm uma série de objetivos, como o da melhoria da qualidade do equipamento, melhoria do desempenho, ajuda para alcançar consenso ambiental ou simplesmente economizar energia e dinheiro. Todos os projetos têm um ponto em comum, um investimento financeiro inicial. O tipo de investimento pode ser uma alocação interna de recursos (projeto doméstico), ou pode ser um acordo contratual complexo com uma ESCO e/ou outro financiador.

Todos os tipos de investimentos financeiros têm um objetivo comum - obter dinheiro ou um “retorno” do investimento. A taxa de retorno é avaliada através de vários parâmetros como simples restituição, retorno do investimento (RDI) ou taxa interna de retorno (TIR). A taxa de retorno esperada é determinada pelo risco associado ao investimento. Tipicamente, quanto maior o risco do projeto, maior é o retorno requerido. Os riscos têm uma variedade de formas nos projetos de eficiência. A maioria dos riscos pode ser avaliada; o importante é a precisão da medida (tolerância). Muitos riscos associados ao investimento num projeto de eficiência em energia e água podem ser medidos usando-se ferramentas comuns no financiamento à indústria, tais como taxa interna de retorno ou o merecimento de crédito do cliente. A M&V, conforme definida neste Protocolo, é primeiramente enfocada naqueles riscos que afetam a medição ou a determinação das economias provenientes de programas de eficiência em energia e água. Estes riscos são definidos nos termos dos contratos entre os participantes.

Este Protocolo fornece orientação para se obter as informações necessárias para reduzir e administrar as incertezas na medição, de modo a estruturar o financiamento dos contratos de performance. O valor dos dados sobre o desempenho das Ações varia de útil a absolutamente crítico, dependendo do método do financiamento e qual das partes aceitou o risco contratual. Por exemplo, uma ESCO tipicamente não estará

preocupada com as horas de operação se o cliente for o responsável pela operação do equipamento, embora estes riscos devam ser realçados e compreendidos pelas partes. Investimentos diferentes requerem diferentes medidas do desempenho. Assim sendo, este Protocolo fornece quatro opções para suprir uma variedade de acordos contratuais.

Embora este Protocolo formalize a linguagem e as técnicas básicas para M&V, não significa que indique uma opção de M&V para cada tipo de Ação. Ao contrário, este documento apresenta as opções disponíveis, fornece orientação na escolha de uma opção e ajuda a esclarecer a relação entre as várias opções de M&V e os riscos assumidos pelas partes e assim limita os riscos financeiros do acordo.

## 2.2 Definição e o Papel dos Contratos de Desempenho

Quando projetos de eficiência incluem uma garantia de desempenho, o contrato pode ser classificado como um contrato de desempenho. É importante reconhecer que há dois instrumentos separados em tais transações - o contrato de empréstimo e a garantia. O empréstimo é um acordo entre o financiador e o cliente, ou a ESCO. A garantia é tipicamente fornecida ao cliente pela ESCO. Geralmente ela garante o valor da energia que será economizada num determinado nível de preço e/ou as economias de energia que serão suficientes para pagar as obrigações com o financiamento. Entretanto, uma garantia pode ser tão simples quanto uma peça de equipamento que seja capaz de operar com um nível de eficiência estabelecido (“taxa de desempenho”).

Há muitos tipos de financiamento em uso para contratos de desempenho. Este Protocolo não recomenda qualquer abordagem em particular, uma vez que a escolha depende de muitas considerações que vão além do escopo das orientações sobre M&V. Está aumentando a disponibilidade em geral de financiadores externos (terceira parte), e é crescente a variedade de instrumentos financeiros aplicáveis. Aqueles que desejam financiamento para projetos com economias medidas e verificadas não devem ter dificuldade na obtenção de assessoria especializada por mais de um profissional, pelo menos nos Estados Unidos.

Economias com energia são geralmente definidas como reduções no uso da energia. Economias com o custo de energia são reduções no custo da energia e as correspondentes despesas de O&M, de um custo básico estabelecido através de uma metodologia determinada num contrato de desempenho. (Atividades para economizar energia também podem reduzir outros custos tais como custos com poluição/saúde através da redução das emissões atmosféricas dos boilers.) “Economias de energia” e “economias com custo de energia”, quando definidas num contrato de desempenho, são tipicamente termos contratuais.

O desempenho do equipamento, antes e depois de um retrofit, pode ser medido com vários graus de precisão. As economias são freqüentemente computadas como custo evitado de energia e são a diferença calculada entre i) o desempenho medido e/ou a carga dos sistemas de uso de energia e ii) o valor da energia que os sistemas teriam usado na falta da Ação, tal diferença sendo multiplicada pelos preços unitários atuais para energia fornecida. O *ano-base*<sup>4</sup> de uso de energia é definido utilizando-se dados de medição do desempenho do equipamento antes da Ação com previsões sobre como o equipamento teria operado no *período pós-instalação do retrofit*. Freqüentemente, as previsões do ano-base devem incorporar as mudanças esperadas e/ou não previstas que possam alterar o cálculo das economias de energia. Nestes casos, o contrato define qual das partes é responsável pelos elementos das Ações que levem às economias de energia e ao custo evitado.

De um modo geral, os projetos de eficiência energética têm dois elementos:

---

<sup>4</sup> Os termos em itálico estão definidos no Capítulo 6.1.

desempenho (performance) e operação:

- O desempenho do projeto está relacionado a sua eficiência, definida por uma medida como melhorias em lúmens/watt ou em toneladas de refrigeração por kW de demanda.
- A operação do projeto está relacionada ao seu uso efetivo, definido como horas de operação, t/horas etc.

*Geralmente, a ESCO é responsável pelo desempenho de qualquer equipamento ou sistema instalados. Dependendo do contrato, tanto a ESCO como o cliente podem ser responsáveis pela operação do equipamento. É importante aceitar mudanças na operação do equipamento que possam resultar de fatores externos ou seja, fora do controle de qualquer das partes, tal como o clima. A responsabilidade pela manutenção pode ser assumida por uma das partes ou ser compartilhada. Deve-se considerar quatro categorias de variáveis que causam todas as mudanças que podem afetar o custo da energia evitado:*

1. ESCO – variáveis controladas - desempenho do retrofit
2. Cliente - variáveis controladas - características da instalação, operação
3. ESCO e/ou cliente – variáveis controladas - manutenção
4. Variáveis fora do controle de qualquer das partes: clima, tarifas da energia, catástrofes.

O plano de M&V deve identificar claramente estas variáveis para todas as Ações antes da implementação do projeto. O processo de M&V requer profissionais habilitados e familiarizados com as técnicas de medição e coleta, utilização e desempenho da tecnologia. Dependendo das circunstâncias, pode ser preferível que o cliente contrate uma terceira parte para julgar se as cláusulas do contrato de desempenho são apropriadas e, mais ainda, se estão sendo aplicadas corretamente. Para compreender perfeitamente as implicações das várias estratégias de medição, o profissional de M&V deve estar perfeitamente ciente das Ações que estão sendo executadas e os serviços fornecidos.

### **2.3 Avaliação do Risco Financeiro**

Ao se criar contratos de financiamento para projetos de eficiência energética, as partes definem e alocam o risco entre elas. Geralmente, o tomador de empréstimo procurará pela alocação mais segura dos riscos. Nos projetos de financiamento de eficiência, a maioria dos riscos (além do merecimento de crédito geral das partes) se refere a uma questão básica: o projeto terá o desempenho esperado? Os riscos relativos ao desempenho que são divididos entre vários participantes podem tornar o financiamento do projeto mais difícil. Geralmente, o tomador de empréstimo quer que o risco do desempenho seja apenas entre a ESCO e o cliente, atuando como “consultor” do cliente. É difícil para o tomador de empréstimo avaliar o merecimento de crédito se os pagamentos podem ser afetados por várias partes. Nestes casos, o tomador de empréstimo premiará o financiamento relativo ao merecimento de crédito do menor denominador comum.

#### **2.3.1 Capacidade de Pagamento**

Cobertura do serviço da dívida, que é a relação entre as economias projetadas e o reembolso, é uma medida crítica para a viabilidade de financiamento do projeto. Ela serve como um indicador da possibilidade de o projeto ser suportado unicamente pelas economias. Quando a cobertura cai para abaixo de um certo nível (125%, por exemplo) , o projeto estará sujeito a maior inspeção pelos financiadores. O mais importante para o cálculo da cobertura é a segurança com a qual as economias são estimadas e finalmente medidas (ou estipuladas).

#### **2.3.2 Riscos de Construção**

Os termos (riscos) incluídos em contratos de construção comuns estão também presentes num projeto de financiamento de eficiência energética, se houver financiamento da construção. (Frequentemente, o financiamento permanente é

iniciado após o final e o aceite da construção.). Os riscos e questões básicas são:

- Quem é responsável pelo projeto? Quem constrói o quê, quando?
- Quem paga a quem, quanto e quando?
- Qual a probabilidade de ultrapassar os custos, quais contingências estão no orçamento da construção e de qual recurso dispõe o financiador no caso de ultrapassagens?
- Qual é o atraso máximo da construção, o que pode causá-lo e o que pode ser feito para corrigi-lo?

Cauções de desempenho cobrem o risco associado ao primeiro item tanto para os clientes quanto para os tomadores de empréstimo. Títulos e contratos de progresso de pagamento cobrem os riscos associados ao segundo item. Os tomadores de empréstimo são interessados em provisões para prejuízos liquidados e pagamento e cauções de desempenho como uma forma para limitar perdas potenciais decorrentes de atrasos na construção.

### **2.3.3 Riscos de Desempenho**

Conforme discutido no Capítulo 2.2, quando se usa *um contrato de desempenho de economias de energia*, é particularmente importante apreender o efeito da “mudança”. Por exemplo, considerar qual das partes estimou as economias e qual delas ficou com o impacto financeiro de: i) uma mudança nas horas de operação; ii) mudanças no tempo; iii) diminuição da eficiência de um chiller; iv) uma mudança que necessite adaptar-se a padrões novos ou existentes; v) fechamento parcial da concessionária; vi) expansão para mudança de produção; vii) qualidade da manutenção etc. O impacto financeiro destas mudanças tanto pode ser positivo quanto negativo. No contrato deve estar claro quem ganha e quem perde. Por exemplo, uma ESCO poderá não receber crédito pelas economias criadas por ações do cliente. Similarmente, uma ESCO poderá não ser solicitada a cobrir os custos mais altos devido à maior ou menor utilização, pelo cliente, fora dos parâmetros do projeto, e.g., um novo laboratório de informática ou menos turnos trabalhados .

As estimativas de economias de energia geralmente são baseadas na suposição de que a instalação operará num cronograma previsto, ou no perfil de carga. Mudanças no cronograma afetarão as economias projetadas. A atribuição da responsabilidade por estas mudanças é um componente crítico do contrato. Além disso, todos estes riscos precisam ser avaliados previamente pelas partes e levados em conta para a utilização das medidas de desempenho conforme especificado e usando um método de M&V apropriado. Frequentemente, isto é examinado em detalhes após a implementação, quando já é muito tarde. Por exemplo, um contrato pode estabelecer que o cliente é responsável pelas horas de operação de um sistema de iluminação e a ESCO é responsável por assegurar que o sistema funcione corretamente. Para este contrato, é apropriado o método da Opção A de M&V (conforme apresentado no Capítulo 3.4.1). O custo evitado é calculado usando-se um valor estipulado para as horas de operação e a mudança medida na carga do sistema de iluminação.

## Capítulo 3 - Conceitos Básicos e Metodologia

- 3.1- Introdução
- 3.2- Abordagem Básica
- 3.3- O Plano de M&V
- 3.4- Métodos
  - 3.4.1- Opção A: Isolamento do Retrofit Medido Parcialmente
    - 3.4.1.1- Opção A: Medição do Isolamento
    - 3.4.1.2- Opção A: Medição x Estipulação
    - 3.4.1.3- Verificação da Instalação
    - 3.4.1.4- Opção A: Intervalo das Medições
    - 3.4.1.5- Opção A: Amostragem
    - 3.4.1.6- Opção A: Incerteza
    - 3.4.1.7- Opção A: Custo
    - 3.4.1.8- Opção A: Melhores Aplicações
  - 3.4.2- Opção B: Isolamento do Retrofit
    - 3.4.2.1- Opção B: Melhores Aplicações
  - 3.4.3- Opção C: Todo o Prédio
    - 3.4.3.1- Opção C: Dados de Energia
    - 3.4.3.2- Opção C: Faturas de Energia
    - 3.4.3.3- Opção C: Variáveis Independentes
    - 3.4.3.4- Opção C: Análise de Dados e Modelos
    - 3.4.3.5- Opção C: Computação dos Ajustamentos de Rotina
    - 3.4.3.6- Opção C: Custo
    - 3.4.3.7- Opção C: Melhores Aplicações
  - 3.4.4- Opção D: Simulação Calibrada
    - 3.4.1.1- Opção D: Tipos de Programas de Simulação
    - 3.4.1.2- Opção D: Calibragem
    - 3.4.1.3- Opção D: Melhores Aplicações
- 3.5- Concordância com o PIMVP

### 3.1 Introdução

As economias de energia ou demanda são determinadas pela comparação dos usos medidos de energia ou demanda antes e após a implementação de um programa de economia de energia. Em geral:

$$\text{Economias de energia} = \text{Uso da energia no ano-base} - \text{Uso da energia pós-retrofit} \pm \text{Ajustamentos} \quad \text{Eq. 1}$$

O termo “Ajustamentos” nesta equação geral é para trazer o uso da energia a dois períodos de tempo no mesmo conjunto de condições. As condições que geralmente afetam o uso de energia são o clima, ocupação, produtividade total da planta e operações do equipamento requeridas por estas condições. Os ajustamentos podem ser positivos ou negativos.

Os ajustamentos são derivados de fatos físicos identificáveis. Eles são feitos tanto rotineiramente, como devido a mudanças climáticas, ou se necessários como quando um segundo turno é adicionado, há inclusão de ocupantes no espaço, ou aumento da utilização de equipamentos elétricos no prédio.

Os ajustamentos são comumente feitos para restabelecer o uso da energia no ano-base sob condições pós-retrofit. Tal processo proporciona economias que são

freqüentemente descritas como “uso evitado da energia” do período pós-retrofit. O nível destas economias depende das condições de operação daquele período.

Os ajustamentos também podem ser feitos de acordo com um conjunto fixo de condições estabelecidas tais como aquelas do ano-base ou de algum outro período. O nível das economias computado nesta situação não é afetado pelas condições do período pós-retrofit, mas reflete a operação sob um conjunto de condições que devem ser estabelecidas previamente.

Há muitas outras considerações e escolhas a fazer para determinar as economias. O Capítulo 3.4 descreve quatro Opções básicas, cada uma das quais pode ser adaptada a um determinado objetivo de economia. O Capítulo 4 orienta em questões comuns como custos de balanço e precisão com o valor do programa de economias de energia que está sendo avaliado. O Capítulo 5 revisa aspectos de medição e instrumentação.

### **3.2 Abordagem Básica**

A determinação adequada das economias é uma parte necessária à estruturação de um bom programa de economias. Entretanto, a abordagem básica para a determinação das economias está relacionada a alguns elementos do projeto do programa. A abordagem básica comum a toda determinação de economias requer os seguintes passos:

1. Selecionar a Opção de M&V (ver Capítulo 3.4) que seja consistente com o objetivo pretendido do projeto e determinar os ajustamentos que serão feitos nas condições pós-retrofit, em algum outro conjunto de condições. (Esta decisão fundamental pode ser incluída nos termos de um contrato de desempenho de energia.).
2. Reunir dados relevantes de energia e operação do ano-base e registrá-los de modo que possam ser acessados no futuro.
3. Projetar o programa de economias de energia. Isto deve incluir a documentação tanto do objetivo do projeto quanto os métodos a serem utilizados para demonstrar o alcance do objetivo do projeto.
4. Preparar os Planos de Medição e de Verificação, se necessário (comumente juntos e chamados de “Plano de M&V). O Plano de M&V define fundamentalmente o significado da palavra “economias” para cada projeto. Ele conterá os resultados dos passos 1 a 3 acima e definirá os passos subsequentes de 5 a 8 (ver Capítulo 3.3).
5. Projetar, instalar e testar qualquer equipamento de medição especial necessário ao Plano de M&V.
6. Após a implementação do programa de economia de energia, inspecionar o equipamento instalado e revisar os procedimentos de operação para assegurar que eles estejam de acordo com o objetivo do projeto, conforme definido no passo 3. Este processo é comumente chamado “comissionamento”. A ASHRAE define boas práticas de comissionamento na maioria das modificações em prédios (ASHRAE 1996).
7. Reunir dados de energia e operação do período pós-retrofit que sejam consistentes com os do ano-base e conforme definido no Plano de M&V. As inspeções necessárias para coletar estes dados devem incluir a repetição periódica das atividades de comissionamento para garantir que o equipamento esteja funcionando conforme planejado.
8. Computar e registrar as economias de acordo com o Plano de M&V.

Os passos 7 e 8 são repetidos periodicamente, quando for necessário um relatório das economias.

As economias são consideradas estatisticamente válidas se o resultado da equação (1) for maior do que o das variações esperadas (ruídos) nos dados do ano-base. O Capítulo 4.2 discute alguns métodos para avaliar estes ruídos. Se forem excessivos, o comportamento aleatório inexplicável da instalação é demasiado e a determinação das

economias resultantes não é confiável. Quando não se espera que este critério seja atingido, deve-se considerar a utilização de mais variáveis independentes no modelo, ou selecionar uma Opção do PMV que seja menos afetada por variáveis desconhecidas.

O balanço deste documento complementa alguns detalhes chaves desta abordagem básica para determinar economias.

Uma vez preparado o relatório das economias, uma terceira parte pode verificar se ele está de acordo com o Plano de M&V. Esta terceira parte também deve verificar se o próprio Plano de M&V é consistente com os objetivos do projeto.

### 3.3 O Plano de M&V

A preparação de um Plano de M&V é fundamental para a determinação apropriada de economias e também é a base para a verificação. O planejamento prévio assegura que todos os dados necessários à determinação das economias estarão disponíveis após a implementação do programa de economia de energia, dentro de um orçamento aceitável.

Os dados do ano-base e detalhes das Ações podem se perder ao longo do tempo. Portanto, é importante registrá-los adequadamente para referência futura, se houver mudança de condições ou as Ações falharem. A documentação deve ser preparada de modo que seja facilmente acessada pelos verificadores ou outras pessoas não envolvidas no seu desenvolvimento, já que poderão se passar vários anos até que estes dados sejam necessários.

Um Plano de M&V deve incluir:

- Uma descrição da Ação e o resultado esperado.
- A identificação dos limites da determinação das economias. Eles podem ser tão restritos quanto o fluxo da energia através de uma única carga ou tão abrangentes quanto a utilização total de energia de um ou vários prédios. A natureza de quaisquer efeitos da energia além dos limites deve ser descrita e estimados os seus possíveis impactos.
- Documentação das *condições do ano-base* da instalação e os *dados de energia do ano base* resultantes. Em contratos de desempenho, o uso de energia e as condições no ano-base podem ser definidos tanto pelo cliente como pela ESCO, desde que seja dada oportunidade à outra parte para verificá-los. Uma auditoria prévia de energia usada para estabelecer os objetivos de um programa de economia ou os termos de um contrato de desempenho de energia não é tipicamente adequado para as atividades de planejamento de M&V. Geralmente, é necessária uma auditoria mais abrangente para reunir as informações do ano-base relevantes para a M&V:
  - perfis de consumo de energia e demanda
  - tipo de ocupação, densidade e períodos
  - condições parciais ou de toda a área da instalação em cada período de operação e estação do ano. (Por exemplo, num prédio deve ser incluído o nível de luz e cor, temperatura, umidade e ventilação. A determinação do conforto térmico e/ou qualidade interna do ar (QIA) também podem ser úteis nos casos onde os novos sistemas não funcionem, assim como os antigos e ineficientes. Ver Volume II).
  - inventário do equipamento: dados de placa, localização, condições, fotografias ou vídeos são maneiras efetivas para registrar as condições do equipamento.
  - práticas de operação do equipamento (horários e regulagens, temperaturas/pressões efetivas).
  - problemas significativos do equipamento ou perdas.

A extensão das informações a serem registradas é determinada pelos limites ou o

escopo da determinação de economias. A documentação do ano-base tipicamente requer auditorias bem documentadas, pesquisas, inspeções e/ou atividades de medição instantânea ou de curto prazo. Onde for empregada a Opção do prédio inteiro (Capítulo 3.4.3 ou Capítulo 3.4.4), todos os equipamentos e condições devem ser documentados.

- Identificação de quaisquer mudanças de planejamento para condições do ano-base, tais como temperaturas noturnas.
- Identificação do período pós-retrofit. Este período pode ser tão curto quanto um minuto de teste seguinte ao comissionamento de uma Ação, ou tão longo quanto o tempo necessário para recuperar o custo do investimento do programa de Ação.
- Estabelecimento do conjunto de condições ao qual todas as medições de energia serão ajustadas. As condições podem ser aquelas do período pós-retrofit ou algum outro conjunto de condições fixas. Conforme discutido na introdução do Capítulo 3, esta escolha determina se as economias registradas são “custos evitados” ou reduções de energia sob condições definidas.
- Documentação do objetivo do projeto de Ação(ões) e os procedimentos para comissionamento que serão utilizados para verificar a implementação bem sucedida de cada Ação.
- Especificação de qual Opção do Capítulo 3.4 será utilizada para determinar as economias.
- Especificação dos exatos procedimentos de análise de dados, algoritmos e suposições. Para cada modelo matemático utilizado, registrar todos os seus termos e a faixa de valores das variáveis independentes sobre a qual ele é válido.
- Especificação dos pontos de medição, período(s), características e medidor, leitura do medidor e protocolo de referência (“protocolo testemunha”), procedimentos para comissionamento do medidor, processo de calibragem e método para lidar com dados perdidos.
- Para a Opção A, registrar os valores a serem utilizados para quaisquer parâmetros estipulados. Mostrar a importância geral destes parâmetros para a economia total esperada e descrever a incerteza inerente à estipulação.
- Para a Opção D, registrar o nome e o número da versão do software para simulação a ser utilizado. Fornecer cópia em papel e eletrônica dos arquivos de entrada e saída e referência dos arquivos sobre clima utilizados para a simulação, anotando quais parâmetros de entrada foram medidos e quais os previstos. Descrever o processo para obtenção de quaisquer dados medidos. Registrar a exatidão com a qual os resultados da simulação combinam com os dados de uso de energia utilizados para calibragem.
- Especificação dos procedimentos para assegurar qualidade.
- Quantificação da exatidão esperada associada à medição, coleta de dados e análises. Descrever também qualitativamente o impacto esperado dos fatores que afetam a exatidão dos resultados mas que não podem ser quantificados.
- Especificar como os resultados serão registrados e documentados. Deve ser incluído um exemplo de cada relatório.
- Especificação dos dados que estarão disponíveis para que uma outra parte possa verificar as economias registradas, se necessário.
- Onde a natureza de mudanças futuras puder ser prevista, devem ser definidos os métodos para fazer os *Ajustamentos da Base*<sup>5</sup> não-rotineiros relevantes.
- Definição dos requisitos de orçamento e recursos para a determinação das economias, tanto para os custos iniciais quanto os de progresso ao longo do período pós-retrofit.

Quando se planeja um processo de medição de economias, é útil considerar a natureza do padrão de uso de energia da instalação e os impactos das Ações após isso. Considerar o valor da variação nos padrões de uso de energia e a mudança a ser

---

<sup>5</sup> Os termos em itálico estão definidos no Capítulo 6.1.

determinada ajudará a estabelecer o valor do esforço necessário para determinar as economias. Os três exemplos seguintes mostram a variação dos cenários que podem surgir.

- A Ação reduz uma carga constante sem modificar suas horas de operação. Exemplo: Projeto de iluminação onde as lâmpadas e reatores num prédio de escritórios são trocados, mas as horas de operação das luzes não mudam.
- A Ação reduz as horas de operação enquanto a carga não muda. Exemplo: Controles automáticos desligam equipamentos de manuseio de ar ou iluminação durante os períodos de desocupação.
- A Ação reduz a carga do equipamento e as horas de operação. Exemplo: O restabelecimento da temperatura por sistema de água quente por radiação reduz o superaquecimento, o que diminui a carga do boiler e os períodos de operação.

Geralmente, as condições de carga variável ou horas de operação variável necessitam de medição mais rigorosa e procedimentos computacionais.

É importante prever realisticamente os custos e o esforço associado às atividades de medição e de análise de dados. Requisitos de tempo e orçamento freqüentemente são subestimados, o que leva à coleta de dados incompletos. É preferível fazer uma determinação de economias menos acurada e menos dispendiosa do que tê-la incompleta ou fraca, mesmo que teoricamente uma determinação mais acurada necessite de substancialmente mais recursos, experiência e/ou orçamento do que os disponíveis. O Capítulo 4.1.1 trata das avaliações entre custo e benefício.

O conteúdo típico de quatro Planos de M&V estão resumidos nos exemplos mostrados no Anexo A.

### 3.4 Métodos

As quantidades de uso de energia na equação (1) podem ser “medidas” por uma ou mais das seguintes técnicas:

- Faturas da concessionária ou do fornecedor de combustível ou leituras do medidor.
- Medidores especiais que separam um retrofit ou parte de uma instalação do restante dela. As medições podem ser periódicas para intervalos curtos, ou contínuas ao longo do período pós-retrofit.
- Medições separadas dos parâmetros utilizados para computar o uso da energia. Por exemplo, parâmetros de operação de equipamentos de carga elétrica e horas de operação podem ser medidos separadamente e usados em conjunto para computar o uso de energia do equipamento.
- Simulação em computador que é calibrada para alguns dados de desempenho efetivo para o sistema ou instalação que está sendo modelada, por exemplo, análise do DOE-2 para prédios.
- Hipóteses combinadas ou estipuladas de parâmetros de Ações que são bem conhecidos. Os limites da determinação das economias, as responsabilidades das partes envolvidas na implementação do projeto e a grandeza dos erros assumidos determinarão onde as hipóteses podem substituir razoavelmente a medição efetiva. Por exemplo, em uma Ação envolvendo a instalação de aparelhos para iluminação mais eficientes sem mudar os períodos de iluminação, as economias podem ser determinadas simplesmente medindo o circuito de carga da iluminação antes e após o retrofit, enquanto se admite que o circuito opera por um período de tempo estipulado. Este exemplo envolve a determinação de períodos de operação, enquanto o desempenho do equipamento é medido.

O período de ajustamentos na equação (1) pode ser de dois diferentes tipos:

- Ajustamentos de **Rotina** para mudanças em parâmetros que se espera aconteçam durante o período pós-retrofit e para os quais a relação com o uso de

energia/demanda pode ser identificada. Estas mudanças são freqüentemente sazonais ou cíclicas, como clima ou variações de ocupação. Este protocolo define quatro Opções básicas para obter ajustamentos de rotina. A Tabela 1 resume as várias Opções.

- Ajustamentos **Não-Rotineiros** para mudanças em parâmetros que não podem ser previstos e para os quais é esperado um impacto significativo no uso de energia/demanda. Os ajustamentos não-rotineiros devem ser baseados em mudanças na instalação conhecidas ou combinadas. O Capítulo 4.8 apresenta uma abordagem geral para trabalhar com ajustamentos não-rotineiros, comumente chamados de “ajustamentos de base”.

**Tabela 1: Panorama das Opções de M&V**

Opções de M&V	Como as Economias são Calculadas	Aplicações Típicas
<p><b>A. Medição parcial de retrofit isolado</b></p> <p>As economias são determinadas por medições de campo parciais do uso de energia do(s) sistema(s) aos quais foi aplicada uma Ação, em separado do uso de energia do restante da instalação. As medições podem ser de curto prazo ou contínuas.</p> <p>Medições parciais significam que alguns mas não todo(s) o(s) parâmetro(s) podem ser estipulados, se o impacto total dos possíveis erros de estipulação não forem significativos para as economias resultantes. Uma cuidadosa revisão do projeto da Ação e instalação assegurará que os valores estipulados representam razoavelmente o valor real provável. As estipulações devem ser mostradas no Plano de M&amp;V juntamente com a análise da importância do erro que elas podem provocar.</p>	<p>Cálculos de engenharia usando medições de curto prazo ou contínuas do retrofit e valores estipulados.</p>	<p>Retrofit de iluminação onde a carga é medida periodicamente. As horas de operação das luzes são admitidas em meia hora por dia além das horas de funcionamento da instalação.</p>
<p><b>B. Retrofit Isolado</b></p> <p>As economias são determinadas por medições de campo do uso de energia dos sistemas aos quais a Ação foi aplicada, em separado do uso de energia do restante da instalação. As medições de curto prazo ou contínuas são feitas durante o período pós-retrofit.</p>	<p>Cálculos de Engenharia utilizando medições de curto prazo ou contínuas.</p>	<p>Aplicação de controles para variar a carga numa bomba de velocidade constante usando um variador de frequência. A eletricidade utilizada é medida por um medidor de kWh instalado no suprimento elétrico do motor da bomba. No ano-base, este medidor fica no local por uma semana para medir o uso com carga constante. O medidor fica no local durante o período pós-retrofit para registrar as variações no uso da energia.</p>
<p><b>C. Toda a Instalação</b></p> <p>As economias são determinadas pela medição do uso de energia em toda a instalação. As medições de curto prazo ou contínuas são feitas durante o período pós-retrofit.</p>	<p>Análise dos dados de toda a instalação com dados do medidor da concessionária ou medidor secundário utilizando técnicas que vão desde a simples comparação até a análise de regressão.</p>	<p>Programa de gerenciamento de energia multifacetado que afeta muitos sistemas em um prédio. O uso de energia é medido pelos medidores de gás e energia da concessionária para um período de 12 meses do ano-base e durante o período pós-retrofit.</p>

<p><b>D. Simulação Calibrada</b></p> <p>As economias são determinadas através da simulação do uso de energia de componentes ou de toda a instalação. As rotinas para simulação devem ser demonstradas para modular adequadamente o desempenho efetivo da energia medida na instalação. Esta opção geralmente requer considerável habilidade em simulação calibrada.</p>	<p>Simulação do uso de energia calibrada com dados horários ou mensais da fatura da concessionária e/ou medidor de uso final.</p>	<p>Programa de gerenciamento de energia multifacetado que afeta muitos sistemas num prédio mas onde não há dados disponíveis do ano-base. O uso de energia do período pós-retrofit é medido pelos medidores de gás e energia da concessionária. O uso de energia do ano-base é determinado por simulação utilizando um modelo calibrado pelos dados da concessionária no período pós-retrofit.</p>
---	---	--

As Opções A e B se concentram no desempenho de Ações específicas. Elas envolvem a medição do uso de energia de sistemas afetados por cada Ação em separado do restante da instalação. A Opção C determina as economias de energia em toda a instalação. A Opção D é baseada em simulações do desempenho de energia do equipamento ou de toda a instalação para permitir a determinação das economias quando os dados do ano-base ou pós-retrofit não forem confiáveis ou não estiverem disponíveis.

Um exemplo do uso de cada uma das quatro Opções encontra-se no Anexo A.

**3.4.1  
Opção A:  
Medição Parcial  
do Retrofit  
Isolado**

A Opção A trata do isolamento do uso de energia do equipamento afetado por uma Ação, do uso de energia do restante da instalação. O equipamento de medição é utilizado para isolar todos os fluxos relevantes de energia nos períodos pré e pós-retrofit. Apenas a medição parcial é utilizada na Opção A com algum(ns) parâmetro(s) sendo estipulados e outros sendo medidos. Embora tal estipulação possa apenas ser feita onde possa ser mostrado que o impacto combinado dos erros plausíveis de todas estas estipulações não afetarão significativamente as economias gerais registradas.

**3.4.1.1  
Opção A:  
Medição do  
Isolamento**

Um equipamento de medição deve ser usado para isolar o uso de energia do equipamento afetado pela Ação, do uso de energia do restante da instalação. A medição do isolamento deve refletir o limite entre o equipamento que a Ação afeta e aquele que ela não afeta. Por exemplo, uma redução de carga de iluminação frequentemente tem um impacto no uso de energia do sistema CAVA, mas o limite para a medição pode ser definido para abranger apenas a eletricidade para iluminação. Contudo, se o limite da determinação de economias abrange os efeitos CAVA, será necessário medir ou estipular a iluminação e os fluxos de energia CAVA.

O Capítulo 5 discute questões relativas à medição.

**3.4.1.2  
Opção A:  
Medição x  
Estipulação**

Alguns, mas nem todos, os parâmetros do uso de energia podem ser estipulados com a Opção A. A decisão sobre quais parâmetros medir e quais a estipular deve considerar a importância do impacto de todas as estipulações sobre as economias gerais registradas. Os valores estipulados e a análise de sua importância devem ser incluídos no Plano de M&V (ver Capítulo 3.2).

A estipulação pode ser baseada em dados históricos tais como o registro de horas de operação do ano-base. Qualquer parâmetro que não for medido na instalação para o ano-base ou o período pós-retrofit deve ser tratado como um valor estipulado e o impacto de um possível erro na estipulação ser estimado como relativo às economias esperadas.

Estimativas de engenharia ou modelos matemáticos podem ser utilizados para determinar a participação da estipulação de qualquer parâmetro nas economias registradas. Por exemplo, se uma parte das horas de operação de um equipamento for considerada para estipulação, mas pode estar entre 2.100 e 2.300 horas por ano, as economias estimadas entre estes valores horários devem ser computadas e a diferença avaliada por sua importância para as economias esperadas. O impacto de todas estas possíveis estipulações deve ser totalizado antes de determinar se há medições suficientes no local.

A seleção de fator(es) a medir também pode ser considerada relativa às obrigações de um empreiteiro que estiver assumindo algum risco de desempenho de uma Ação. Quando um fator for importante para determinar o desempenho de um empreiteiro, deve ser medido, enquanto outros fatores além do controle da ESCO devem ser considerados para estipulação.

#### **3.4.1.3 Verificação da Instalação**

Já que a estipulação está prevista nesta Opção, deve-se ter muito cuidado em revisar o projeto de engenharia e a instalação para assegurar que a estipulação seja realista e alcançável, i.e., que o equipamento tenha realmente potencial para apresentar a performance prevista.

A intervalos definidos durante o período pós-retrofit, a instalação deve ser inspecionada para verificar a existência continuada do equipamento e sua operação e manutenção adequadas. Tais re-inspeções assegurarão a continuação do potencial para gerar as economias previstas e validar as estipulações. A frequência destas re-inspeções pode ser determinada pela probabilidade de mudança. Ela pode ser estabelecida por inspeções iniciais frequentes para estabelecer a estabilidade da ocorrência e do desempenho do equipamento. Um exemplo da necessidade de re-inspeção de rotina é a determinação de economias de um retrofit de iluminação envolvendo a amostragem do desempenho dos aparelhos e a contagem da quantidade deles. Neste caso, a contínua existência dos aparelhos e lâmpadas é crítica para a determinação das economias. Portanto, seria apropriada a contagem periódica do número aparelhos no local com todas as lâmpadas acesas. Similarmente, onde o desempenho dos equipamentos de controles é admitido mas sujeito a estar ultrapassado, inspeções regulares ou registros de controles são críticos para limitar a incerteza criada pelas estipulações.

#### **3.4.1.4 Opção A: Intervalo das Medições**

Os parâmetros podem ser medidos contínua ou periodicamente por períodos curtos. O valor esperado de variação no parâmetro definirá a decisão de medir contínua ou periodicamente.

Onde não se espera mudança em um parâmetro, ele pode ser medido imediatamente após a execução da Ação e testado ocasionalmente durante o período pós-retrofit. A repetição deste teste pode ser determinada iniciando-se com medições frequentes para verificar se o parâmetro está constante. Uma vez provada a constância, a frequência das medições pode ser reduzida.

Se não forem utilizadas medições contínuas, o local da medição e a natureza exata do equipamento de medição devem ser registrados no Plano de M&V junto com o procedimento de calibragem do medidor que estiver sendo usado.

Onde se espera que um parâmetro seja constante, os intervalos de medição podem ser curtos e ocasionais. Os aparelhos para iluminação dão um exemplo de fluxo de carga constante, admitindo-se que eles não tenham redutor de luz. Contudo, os períodos de operação das luzes podem não ser constantes, por exemplo, a iluminação externa controlada por uma fotocélula opera por períodos menores nas estações com iluminação natural mais longa do que nas estações de menor iluminação natural. Onde um parâmetro puder ser modificado, como no caso desta fotocélula, as

medições devem ser feitas sob condições sazonais apropriadas.

Onde um parâmetro puder variar diária ou horariamente, como na maioria dos sistemas de aquecimento ou refrigeração, as medições contínuas devem ser as mais simples. Entretanto, para as cargas dependentes da estação do ano, as medições podem ser feitas por um período longo o bastante para caracterizar adequadamente o padrão de carga (i.e., dia da semana/fim de semana e características da carga dependentes da estação do ano) e repetidas se necessário durante o período pós-retrofit. Exemplos destes perfis diários podem ser encontrados em Katipamula e Haberl (1991), Akbari et al. (1988), Hadley e Tomich (1986), Bou Saada e Haberl (1995a, 1995b) e Bou Saada et al. (1996).

#### **3.4.1.5**

##### **Opção A: Amostragem**

Onde versões múltiplas da mesma instalação forem incluídas nos limites da determinação de economias, podem ser usadas amostras estatisticamente válidas como medições comprovadas do parâmetro total. Esta situação pode surgir, por exemplo, onde aparelhos para iluminação individuais forem medidos antes e após o retrofit para avaliar sua carga, enquanto a carga total de iluminação não puder ser lida no painel elétrico devido à presença de cargas não relativas a iluminação no mesmo painel. Desde que uma amostra estatisticamente importante de aparelhos seja medida antes e após a instalação da Ação, estes dados podem ser usados como a “medição” da carga total de iluminação. O Anexo B discute as questões estatísticas envolvidas na amostragem.

#### **3.4.1.6**

##### **Opção A: Incerteza**

O Capítulo 4.2 revê as questões gerais que envolvem a incerteza da determinação de economias. Entretanto, os fatores específicos relativos à incerteza dos métodos da Opção A são:

- A grandeza dos efeitos além dos limites do isolamento do retrofit. Por exemplo, a importância da energia mecânica para refrigeração associada à redução na carga de iluminação depende da extensão da estação mecânica para refrigeração e do número de horas de operação do equipamento de refrigeração a cada dia.
- A importância do erro introduzido pelas variações possíveis entre os valores estipulados e os reais dos parâmetros. Esta incerteza é controlada através de revisão cuidadosa do projeto da Ação, de inspeção de sua implementação após a instalação e periodicamente depois disso.
- A variabilidade nos parâmetros medidos, se for empregada medição menos contínua. Esta incerteza pode ser minimizada através de medições periódicas feitas frequentemente no início do projeto para caracterizar adequadamente a variabilidade.
- O grau em que a amostra medida representa todos os componentes de uma Ação.

A incerteza das economias na Opção A geralmente é inversamente proporcional à complexidade da Ação e variabilidade das operações no ano-base e no período pós-retrofit. Assim, as economias de um simples retrofit de iluminação podem ser mais exatamente determinadas com a Opção A do que as de um retrofit de chiller, já que as estipulações para iluminação podem ter menos incerteza.

#### **3.4.1.7**

##### **Opção A: Custo**

As determinações de economias com a Opção A podem ser menos onerosas do que com as outras opções, uma vez que o custo para obter uma estipulação pode ser menor do que para fazer medições. Entretanto, em algumas situações onde a estipulação é o único caminho possível, a derivação de uma boa estipulação pode requerer custo maior do que uma medição direta. O custo do retrofit isolado deve considerar todos os elementos: instalação do medidor adequado, comissionamento e manutenção, análise adequada da estipulação e o custo que virá para ler e registrar os dados.

Podem ser usados medidores portáteis, de modo que seus custos possam ser

distribuídos com outros objetivos. Entretanto, os medidores que são instalados permanentemente podem ser úteis na instalação para dar feedback à equipe de operação ou equipamento de controle automático para otimização dos sistemas ou o faturamento de usuários especiais.

O custo para calcular as economias é determinado pela complexidade da Ação e o número de fluxos de energia que cruzam o limite da Ação ou isolamento do retrofit.

O custo também é determinado pela frequência da medição, se contínua ou periódica. Os custos anuais devem ser estimados para serem maiores no início do período pós-retrofit. Neste estágio de um projeto os processos de medição estão sendo aperfeiçoados e é necessário maior monitoramento do desempenho para otimizar a operação da Ação. Alguns projetos podem deixar de registrar economias após um período de “teste” definido, ainda que a medição possa ser deixada no local para feedback em tempo real para a equipe de operação.

O custo adequado a cada determinação de economias deve ser definido em proporção às economias esperadas de seu potencial de variabilidade.

#### **3.4.1.8**

##### **Opção A: Melhores Aplicações**

A Opção A é melhor aplicada onde:

- É de interesse o desempenho de apenas um dos sistemas afetados pela Ação, seja devido às responsabilidades fixadas para as partes de um contrato de desempenho, seja devido às economias da Ação serem muito pequenas para serem detectadas no tempo disponível ao utilizar a Opção C.
- Os efeitos interativos entre as Ações ou com outros equipamentos da instalação podem ser medidos ou considerados não importantes.
- O isolamento da Ação do restante da instalação e a estipulação de fatores-chaves podem evitar dificuldades nos Ajustamentos não-rotineiros da Base em modificações futuras na instalação.
- As variáveis independentes que afetam o uso de energia não são complexas e dificultam excessivamente ou encarecem o monitoramento.
- Os medidores secundários já existem para isolar o uso de energia dos sistemas.
- Os medidores adicionados para fins de isolamento serão usados para outros propósitos como feedback operacional ou faturamento do locatário.
- A incerteza criada pelas estipulações é aceitável.
- A efetividade contínua da Ação pode ser determinada por inspeção visual de rotina dos parâmetros estipulados.
- A estipulação de alguns parâmetros é menos onerosa do que sua medição na Opção B ou a simulação na Opção D.

#### **3.4.2**

##### **Opção B: Isolamento do Retrofit**

As técnicas para determinação das economias da Opção B são idênticas às da Opção A, a não ser que não são permitidas estipulações na Opção B. Em outras palavras, é necessária medição completa.

As medições de curto prazo ou contínuas podem ser usadas na Opção B. A medição contínua oferece maior exatidão nas economias registradas e mais dados sobre a operação dos equipamentos. Estes dados podem ser utilizados para melhorar ou otimizar a operação do equipamento em base de tempo real, desse modo melhorando o benefício do próprio retrofit. Resultados de vários estudos mostram que 5 a 15% de economias anuais de energia podem ser alcançadas através do uso cuidadoso de registrador de dados contínuo (Claridge et al. 1994; Haberl et al. 1995).

A Opção B inclui medição completa do impacto da Ação. Conseqüentemente há menor necessidade de verificar o potencial de desempenho do que na Opção A. As verificações na instalação sugeridas no Capítulo 3.4.1.3 podem ser moderadas eliminando-se a continuação das re-inspeções após a inspeção de comissionamento.

As economias criadas pela maioria dos tipos de Ações podem ser determinadas com a

Opção B. Entretanto, o grau de dificuldade e os custos associados à verificação crescem proporcionalmente ao aumento da complexidade da medição. Os métodos da Opção B geralmente serão mais difíceis e onerosos do que os da Opção A. Embora a Opção B possa produzir resultados menos incertos onde a carga e as economias sejam variáveis. Os custos adicionais podem ser justificáveis se um contratante for o responsável por todos os aspectos da eficácia da Ação.

A Diretriz ASHRAE 14P apresenta detalhes técnicos num método similar (ASHRAE 2000).

#### 3.4.2.1

##### **Opção B: Melhores Aplicações**

A Opção B é melhor aplicada onde:

- O interesse é apenas no desempenho dos sistemas afetados pela Ação, seja devido às responsabilidades assumidas pelas partes num contrato de desempenho, seja devido às economias com a Ação serem tão pequenas para serem detectadas no tempo disponível com o uso da Opção C.
- Os efeitos interativos entre as Ações ou com outro equipamento da instalação podem ser medidos ou serem secundários.
- O isolamento da Ação do restante da instalação pode evitar ajustamentos não rotineiros da Base possivelmente difíceis para mudanças futuras da instalação.
- As variáveis independentes que afetam o uso de energia não são complexas e excessivamente difíceis ou caras para monitorar.
- Já existem medidores secundários para isolar o uso de energia dos sistemas.
- Os medidores adicionados para fins de isolamento serão usados para outras atividades como feedback operacional ou faturamento do locatário.
- A medição dos parâmetros é menos dispendiosa do que a simulação da Opção D.

#### 3.4.3

##### **Opção C: Todo o Prédio**

A Opção C inclui o uso dos medidores da concessionária ou medidores secundários de toda a instalação para avaliar o desempenho de energia de todo um prédio. A Opção C avalia o impacto de qualquer tipo de Ação, mas não individualmente se mais de um for aplicado a um medidor de energia. Esta opção determina as economias reunidas de todas as Ações aplicadas à parte da instalação monitorada pelo medidor de energia. Também, uma vez utilizados medidores em toda a instalação, as economias registradas com a Opção C incluem o impacto de quaisquer outras mudanças no uso de energia da instalação (positivo ou negativo).

A Opção C pode ser utilizada nos casos onde haja um alto grau de interação entre as Ações instaladas ou entre as Ações e o restante do prédio, ou o isolamento e medição de uma determinada Ação(ões) é difícil ou muito caro.

Esta Opção destina-se a projetos onde se esperam economias suficientemente grandes para serem perceptíveis das variações de energia aleatórias ou inexplicáveis que normalmente se encontram a nível do medidor de toda a instalação. Quanto maior a economia, ou quanto menores as variações inexplicáveis no ano-base, mais fácil será identificar as economias. Também quanto maior o período de análise das economias após a instalação da Ação, menos significativo é o impacto das variações de curto prazo inexplicáveis. Tipicamente, as economias devem ser mais do que 10% do uso de energia do ano-base, se elas forem separadas da interferência nos dados do ano-base.

Devem ser feitas inspeções periódicas em todos os equipamentos e operações da unidade após a instalação da Ação. Estas inspeções identificarão as mudanças nas condições do ano-base ou as operações pretendidas. Avaliar as mudanças (além daquelas motivadas pela(s) Ação(ões)) é o principal desafio associado à Opção C, particularmente onde as economias devem ser monitoradas por longos períodos. Ver também o Capítulo 4.8 sobre Ajustamentos da Base.

A Diretriz ASHRAE 14P apresenta detalhes técnicos num método similar (ASHRAE

2000).

### **3.4.3.1 Opção C: Dados de Energia**

Cada fluxo de energia em um prédio é medido separadamente pela concessionária ou pelo supridor da energia. Onde o fornecimento pela concessionária é apenas medido em um ponto central numa instalação de campo, são necessários medidores secundários em cada prédio ou grupo de prédios para os quais deve ser determinado o desempenho individual do prédio.

Podem ser utilizados vários medidores para medir o fluxo de um tipo de energia em um prédio. Visto que qualquer medidor fornece o uso de energia a um sistema que interage com outros sistemas de energia direta ou indiretamente, ele deve ser incluído na determinação das economias de todo o prédio. Os medidores para fluxos de energia não interativos para os quais as economias não precisam ser determinadas podem ser ignorados, tais como os circuitos de iluminação externa medidos separadamente. Se vários medidores diferentes são lidos em dias distintos, então cada medidor que tiver um único período de faturamento deve ser analisado separadamente. Os resultados podem ser combinados após cada análise individual.

As economias devem ser determinadas separadamente para cada medidor ou medidor secundário de um prédio, de modo que as mudanças no desempenho possam ser avaliadas para partes da instalação medidas separadamente. Onde um medidor mede uma pequena fração do uso total de um tipo de energia, ele pode ser totalizado com o medidor maior(es) para reduzir as tarefas de gerenciamento de dados. Quando medidores elétricos são assim combinados, deve-se reconhecer que pequenos medidores de consumo freqüentemente não têm dados de demanda associados a eles, assim os dados de consumo total não fornecerão informações significativas sobre o fator de carga.

Se estiverem faltando dados de energia do período pós-retrofit, pode ser criado um modelo desse período para completar os dados faltantes. Entretanto, as economias registradas para o período devem ser identificadas como “estimadas”.

Onde as mudanças na demanda elétrica representarem um valor significativo das economias de custo calculadas, a demanda registrada na fatura da concessionária pode não ser uma fonte segura de dados, devido às dificuldades para obter modelos precisos das leituras de demanda mensal. Neste caso, o tempo de pico do medidor da concessionária deve ser conhecido para cada mês, de modo que o equipamento especial para registro da demanda possa ser sincronizado com o restabelecimento da demanda da concessionária. Também o tempo mínimo para qualquer registro no medidor deve coincidir com o intervalo de tempo de demanda da concessionária (ver Capítulo 5.2).

### **3.4.3.2 Opção C: Faturas de Energia**

Os dados de energia são freqüentemente obtidos nos medidores da concessionária, seja através de leitura direta do medidor, seja pelas faturas. Onde as faturas forem a fonte dos dados do uso de energia, deve-se reconhecer que as necessidades da concessionária para a exatidão da leitura do medidor podem não ser as mesmas que as da determinação das economias. As faturas da concessionária podem conter dados estimados, especialmente para pequenas avaliações. Às vezes, não pode ser determinado pela própria fatura quais dados provêm de uma estimativa e quais da leitura do medidor. Leituras estimadas não registradas criam erros desconhecidos para o mês(es) da estimativa e o mês subsequente quando uma leitura efetivamente é feita. Entretanto, a primeira fatura com uma leitura efetiva após uma ou mais estimativas corrigirá os erros prévios em quantidades de energia. Quando uma estimativa aparece na fatura da concessionária, o registro das economias associadas deve refletir este fato.

Onde são feitas estimativas de medidor elétrico, não há dados válidos para a demanda

elétrica.

A energia pode ser fornecida indiretamente a uma instalação, através da estocagem no local para óleo, propano ou carvão. Nestas situações, as informações sobre as faturas de embarque do fornecedor de energia não são representativas do consumo real da instalação durante o período entre os embarques. Preferencialmente deve ser usado um medidor abaixo do local de estocagem para medir o uso de energia. Entretanto, quando não houver tal medidor, devem ser usados ajustamentos de nível do inventário para o período da fatura para complementar as faturas.

### 3.4.3.3 Opção C: Variáveis Independentes

As características de uso de uma instalação ou o meio ambiente que norteiam o consumo de energia são chamadas de variáveis independentes. As comuns são clima e ocupação. O clima tem várias dimensões, mas para a análise de todo o prédio o clima é mais frequentemente apenas a temperatura externa e possivelmente a umidade, dependendo do ambiente da instalação. A ocupação pode ser definida de várias maneiras tais como: fator de ocupação de sala de hotel, núcleo de horas de ocupação de prédio de escritórios ou máximo de horas, número de dias de ocupação (dias da semana/fins de semana), ou vendas em restaurantes.

Devido ao fato que as variáveis independentes têm uma natureza cíclica, a importância de seu impacto no uso de energia pode ser avaliado por meio de modelos matemáticos. Os parâmetros que tiverem um efeito significativo no período do ano-base devem ser incluídos nos ajustamentos de rotina ao aplicar-se a equação (1) para determinar as economias. Os parâmetros que tiverem um efeito menos previsível mas potencialmente significativo devem ser medidos e registrados nas condições dos períodos do ano-base e pós-retrofit de modo que possam ser feitos ajustamentos não-rotineiros, se necessários (ver Capítulo 4.8).

As variáveis independentes devem ser medidas e registradas ao mesmo tempo que os medidores de energia. Por exemplo, os dados de clima devem ser registrados diariamente para que possam ser totalizados e corresponderem com o exato período de medição mensal que pode ser diferente do mês calendário. Os dados mensais de temperatura média para um mês fora do calendário podem apresentar erros desnecessários ao modelo.

O número de variáveis independentes a considerar nos dados do modelo do ano-base pode ser determinado por análise de regressão e outras formas de modelos matemáticos (Rabl 1988, Rabl e Rialhe 1992, ASHRAE 1997, Fels 1986, Ruch e Claridge 1991, Claridge et al. 1994).

### 3.4.3.4 Opção C: Análise de Dados e Modelos

O período de ajustamento da equação (1) na Opção C é calculado pelo desenvolvimento de um modelo válido de cada uso de energia e/ou demanda do ano-base do medidor. Um modelo pode ser tão simples quanto uma lista ordenada de 12 demandas elétricas mensais efetivas do ano-base sem quaisquer fatores de ajustamento. Entretanto, eles podem ser um conjunto de fatores obtidos de análise de regressão correlacionando o uso de energia a um ou mais parâmetros como os *graus diários*, duração do período de medição, ocupação e modo de ocupação do prédio (verão/inverno). Os modelos também podem incluir vários conjuntos de parâmetros de regressão, cada um válido sobre uma variação definida de condições como temperatura do ambiente, no caso de prédios, uma vez que estes geralmente usam diferentemente a energia de acordo com a estação do ano.

A Opção C geralmente requer 12, 24 ou 36 (i.e., um ano ou vários anos) dados de energia contínuos do ano-base diários ou mensais, ou dados contínuos durante o período pós-retrofit (Fels 1986) uma vez que os modelos com mais ou menos dados (i.e., 13, 14, 15 ou 9, 10, 11 meses) podem ocasionar um desvio estatístico na regressão. Os dados de medição podem ser horários, diários ou mensais de todo o

prédio. Os dados horários devem ser agregados pelo menos ao nível diário para controlar o número de variáveis independentes necessário para produzir um modelo razoável do ano-base, sem impacto significativo na incerteza ao computar as economias (Katipamula 1996, Kissock et al. 1992). A dispersão encontrada nos dados diários geralmente é atribuída ao ciclo semanal da maioria das instalações.

Muitos modelos são possíveis com a Opção C. Para selecionar o mais adequado a cada aplicação, devem ser considerados índices estatísticos de avaliação tais como  $R^2$  ou Coeficiente de Variação - *CV (Erro Médio Quadrático)* (ver Anexo B). Informações adicionais relativas a estes procedimentos para seleção podem ser encontradas em Reynolds e Feld (1988), Kissock et al. (1992 e 1994) e Handbook of Fundamentals ASHRAE (1997).

A validade estatística do modelo selecionado deve ser avaliada e demonstrada por meio de referência à literatura estatística publicada.

Em certos tipos de instalação (como escolas) onde há uma diferença significativa entre o uso de energia da instalação durante o ano escolar e as férias de verão, pode ser necessário desenvolver modelos de regressão em separado para diferentes períodos de uso (Landman e Haberl 1996 a, 1996b).

#### **3.4.3.5 Opção C: Computação dos Ajustamentos de Rotina**

Para calcular o período de Ajustamentos na Equação (1) para a Opção C, são utilizados os seguintes passos:

1. Desenvolver o modelo apropriado para os dados de energia do ano-base e selecionar condições significativas (ver Capítulos 3.4.3.2 e 3.4.3.3).
2. Inserir as variáveis independentes do período pós-retrofit (e.g., temperatura ambiental, duração do período de medição) no modelo do ano-base de 1 acima. Este processo dá origem ao uso de energia que teria ocorrido sob condições pós-retrofit se a Ação não tivesse sido instalada. (Notar que se algum outro conjunto de condições for selecionado para registrar as economias (Capítulo 3), as variáveis independentes para este conjunto de condições seriam usadas no lugar das variáveis independentes do período pós-retrofit).
3. Diminuir o uso de energia do ano-base do resultado de 2 acima, para cada mês.

#### **3.4.3.6 Opção C: Custo**

O custo dos métodos da Opção C depende se os dados de energia são retirados das faturas da concessionária ou de outros medidores especiais de todo o prédio. Se tais medidores secundários estiverem no local, de qualquer maneira pode não haver custo extra, desde que eles sejam lidos adequadamente, registrados e mantidos. Os principais elementos de custo na Opção C são: i) fatura da concessionária ou gerenciamento de dados e operação do modelo com cada dado mensal da concessionária e ii) registrar e ajustar para condições que mudam após o ano-base.

#### **3.4.3.7 Opção C: Melhores Aplicações**

A Opção C é melhor aplicada onde:

- O desempenho de energia de toda a instalação deve ser avaliado, não apenas as Ações.
- Há vários tipos diferentes de Ação no prédio.
- A Ação envolve atividades espalhadas que não podem ser facilmente isoladas do restante da instalação, tais como treinamento de operadores ou melhorias em paredes e janelas.
- As economias são grandes o bastante para serem separadas da interferência nos dados do ano-base durante o tempo de monitoramento.
- Os efeitos interativos entre as Ações ou com outros equipamentos da instalação são significativos, o que torna as técnicas de isolamento das Opções A e B excessivamente complexas.
- As principais mudanças futuras na instalação não são esperadas durante o período de determinação das economias. Pode ser estabelecido um sistema para busca de condições de operação para facilitar futuros ajustamentos não rotineiros da base.

- Podem ser encontradas correlações razoáveis entre o uso de energia e outras variáveis independentes.

#### 3.4.4

##### **Opção D: Simulação Calibrada**

A Opção D trata do uso de programa de simulação em computador para prever o uso de energia em um ou ambos os seus períodos na Equação 1. Tal *modelo de simulação* deve ser “calibrado”, de modo que preveja um uso de energia e modelo de demanda que combine o consumo efetivo da concessionária e os dados de demanda no ano-base ou no ano pós-retrofit.

A Opção D pode ser usada para avaliar o desempenho de todas as Ações numa instalação, semelhante à Opção C. Entretanto, ao contrário da Opção C, várias rodadas de simulação na Opção D permitem estimativas de economias atribuíveis a cada Ação dentro de um projeto múltiplo.

A Opção D também pode ser usada para avaliar apenas o desempenho de determinados sistemas na instalação, semelhante às Opções A e B. Neste caso, o uso de energia do sistema deve ser isolado do restante da instalação por meio de medidores apropriados, conforme apresentado no Capítulo 3.4.1.1.

A Opção D é útil onde:

- Não há dados de energia do ano-base ou não estão disponíveis. Esta situação pode surgir para uma nova instalação que contenha ações de eficiência energética necessitando ser avaliadas separadamente do restante da instalação. Também pode surgir em instalações com medição central onde não há medidor individual no período do ano-base, mas onde haverá medidores disponíveis após a instalação da Ação.
- Os dados de energia do período pós-retrofit não estão disponíveis ou indefinidos por fatores cuja influência será difícil quantificar. Por exemplo, esta situação pode surgir onde seja muito difícil avaliar o impacto das mudanças de uso futuras na instalação que possam afetar significativamente o uso de energia. Mudanças em processos industriais ou acréscimos não controlados de equipamentos importantes geralmente tornam a computação dos ajustamentos futuros na base tão imprecisos que o erro na determinação das economias é excessivo.
- As economias de energia esperadas não são suficientemente grandes para serem separadas do medidor da concessionária ao usar a Opção C.
- Deseja-se determinar as economias associadas com Ações individuais, mas o isolamento com as Opções A ou B e as medições são muito difíceis ou onerosas.

Se o uso de energia pós-retrofit é baseado no programa de simulação, as economias determinadas são efetivamente mantidas apenas se os métodos de operação simulada são mantidos. Devem ser feitas inspeções periódicas para todo o equipamento e operações na instalação após a Ação (ver Capítulo 3.4.1.3). Estas inspeções identificarão mudanças nas condições do ano-base e variações do desempenho do equipamento.

O período de ajustamentos na equação (1) é computado rodando-se o modelo de simulação sob um conjunto de condições apropriadas necessárias para trazer os dois períodos de uso de energia para um conjunto comum de condições.

Cuidadosa modelagem em computador e calibragem dos dados medidos são os principais desafios associados à Opção D. Para controlar os custos deste método e manter uma exatidão razoável, devem ser considerados os seguintes pontos ao usar a Opção D:

1. A análise da simulação deve ser conduzida por pessoal treinado e com experiência no software utilizado e nas técnicas para calibragem.

2. Os dados de entrada devem representar a melhor informação disponível incluindo, tanto quanto possível, os dados de desempenho efetivo dos principais componentes da instalação.
3. A simulação deve ser ajustada (“calibrada”) para que seus resultados coincidam com os dados de demanda e consumo das faturas mensais, com tolerâncias aceitáveis. Pode ser necessário utilizar dados efetivos de clima nos casos onde eles variem significativamente da média anual utilizada na simulação. Um acordo entre o uso de energia anual total previsto e o efetivo geralmente é uma demonstração insuficiente que a simulação prevê adequadamente o comportamento da energia da instalação.
4. As análises da simulação devem ser bem documentadas com cópias em papel e eletrônicas dos arquivos de entrada e saída, assim como os dados de pesquisa e medição/monitoramento utilizados para definir e calibrar o modelo. O número da versão do software deve ser declarado se ele estiver publicamente disponível, de modo que qualquer outra parte possa rever completamente as várias computações dentro da simulação.

A Diretriz ASHRAE 14P fornece detalhes técnicos num método similar (ASHRAE 2000).

#### **3.4.4.1 Opção D: Tipos de Programas de Simulação**

Podem ser encontradas informações sobre os diferentes tipos de desenvolvimento de modelos de simulação no Manual ASHRAE (1997). O Departamento de Energia (DOE) também mantém uma lista de domínio público e programas de simulação de energia de proprietários de prédios. Estas informações podem ser obtidas através do servidor do DOE no endereço [www.eren.doe.gov/buildings/tools/directory](http://www.eren.doe.gov/buildings/tools/directory).

Os programas de simulação de todo o prédio geralmente incluem técnicas de cálculo horário. Embora as técnicas que usam os procedimentos simplificados de análise de energia da ASHRAE também possam ser utilizadas se os ganhos/perdas de aquecimento do prédio, cargas internas e os sistemas CAVA forem simples. O procedimento da ASHRAE apresenta simplificações aplicáveis e modelos simplificados do sistema CAVA.

Muitos outros tipos de programa para fins especiais podem ser utilizados para simular o uso de energia e condições de operação de componentes ou processos industriais. Os modelos de componentes CAVA estão disponíveis na ASHRAE e em seu kit CAVA02 (Brandemuehl 1993) e para equipamentos para boiler/chiller no kit CAVA01 (Bourdouxhe 1994a, 1994b, 1995). Componentes simplificados para modelos do circuito de ar dos sistemas CAVA também estão disponíveis no relatório de Knebel (1983). Foram identificadas equações para inúmeros outros modelos como (ASHRAE 1989, SEL 1996).

Qualquer software utilizado deve ser bem documentado e bem compreendido pelo usuário.

#### **3.4.4.2 Opção D: Calibragem**

As economias determinadas com a Opção D são baseadas em uma ou mais estimativas complexas do uso de energia. Entretanto, a precisão das economias é completamente dependente de como os modelos de simulação se comportam realmente e de como seja bem calibrado para o desempenho efetivo.

A calibragem é conseguida verificando-se que o modelo de simulação prevê razoavelmente o uso de energia da instalação pela comparação dos resultados do modelo com um conjunto de dados de calibragem. Estes dados devem, pelo menos, medir o consumo de energia e dados de demanda, para a parte da instalação que estiver sendo simulada. A calibragem de simulações do prédio geralmente é feita com os 12 meses da fatura da concessionária. O conjunto de dados de calibragem deve ser

documentado junto com uma descrição das suas fontes.

Outros dados de operação da instalação podem ser utilizados como dados de simulação de entrada como parte do conjunto de dados de calibragem. Estes dados devem incluir as características de operação e perfis das principais variáveis como uso e ocupação, clima, cargas conhecidas, períodos de operação do equipamento e eficiência. Algumas variáveis podem ser medidas para intervalos curtos, registradas para um dia da semana ou mês, ou extraídas de listas de operação existentes. A precisão do equipamento medido deve ser verificada para medições críticas. Se os recursos permitirem, devem ser medidas a ventilação e a infiltração, uma vez que estas quantidades freqüentemente variam muito das expectativas. Medições instantâneas melhorarão significativamente a precisão da simulação. Onde os recursos forem limitados, testes de liga/desliga podem ser utilizados para determinar medições instantâneas e de uso final de iluminação, as cargas das tomadas elétricas e centros de controle de motores. Estes testes podem ser feitos durante um fim de semana utilizando um registrador de dados ou Sistemas de Gerência de Energia para registrar o uso de eletricidade em todo o prédio, geralmente a intervalos de um minuto, e em alguns casos com registradores portáteis baratos que são sincronizados a um controlador de tempo (Benton et al. 1996, Houcek et al. 1993, Soebarto 1996).

Em seguida à reunião do maior número possível de dados de calibragem, os passos para calibrar a simulação são mostrados abaixo.

1. Avaliar outros parâmetros de entrada e documentá-los.
2. Verificar que a simulação prevê resultados de operação razoáveis como temperatura/umidade do espaço ou processo.
3. Comparar os resultados da energia simulada e a demanda com os dados medidos, em base horária ou mensal. Utilizar dados reais de clima quando as condições variarem significativamente da média anual. Avaliar os padrões nas diferenças entre os dados de simulação e calibragem. Gráficos de barra, gráficos mensais de diferenças percentuais variando com o tempo e gráficos mensais de dispersão de dados fornecem uma representação visual, o que ajuda na identificação de exemplos de erro.
4. Revisar os dados de entrada previstos no passo 1 e repetir os passos 2 e 3 para trazer os resultados previstos para razoavelmente perto do uso efetivo de energia e demanda. Podem ser necessários mais dados de operação da instalação, para melhorar a calibragem.

Os tipos de prédios que podem não ser facilmente simulados são aqueles com:

- Grandes saguões
- Uma parte significativa do espaço no subsolo ou térreo.
- Aspecto externo fora do comum
- Configurações de sombra complexas
- Um grande número de zonas distintas de controle de temperatura.

Algumas Ações em prédios não podem ser simuladas sem grande dificuldade, como:

- Adição de barreiras irradiantes em um sótão e
- Mudanças em sistema CAVA não permitidas pelas opções fixas dentro de alguns programas para simulação horária de todo o prédio.

A criação e a calibragem de uma simulação podem levar tempo. A utilização de dados mensais para calibragem geralmente é menos onerosa do que a calibragem horária. As calibrações baseadas em dados mensais da instalação podem chegar a uma média aproximada de erro sistemático (MES) de  $\pm 20\%$  comparado ao uso de energia mensal. As calibrações horárias podem alcançar de  $\pm 10\%$  a  $\pm 20\%$  CV (EMQ) do uso de energia horário, ou de  $\pm 1\%$  a  $\pm 5\%$  da fatura mensal da concessionária.

#### 3.4.4.3

#### **Opção D: Melhores Aplicações**

A Opção D é melhor aplicada onde:

- Os dados do ano-base ou do período pós-retrofit não estão disponíveis ou não são confiáveis.
- Há muitas Ações para avaliar usando as Opções A ou B.
- As Ações incluem atividades dispersas que não podem ser facilmente isoladas do restante da instalação, tais como treinamento de operadores ou melhorias em paredes e janelas.
- O impacto de cada Ação sobre ela própria deve ser estimado dentro de um projeto múltiplo de Ações e os custos das Opções A ou B são excessivos.
- Os efeitos interativos entre as Ações ou com outros equipamentos da instalação são complexos, o que torna as técnicas de isolamento das Opções A e B excessivamente complexas.
- São esperadas mudanças futuras na instalação durante o período de determinação das economias e não podem ser encontrados meios realísticos para seguir ou considerar seu impacto na energia.
- Há um profissional disponível com experiência em simulação de energia e com recursos para reunir os dados de entrada adequados para calibrar o modelo de simulação.
- A instalação e as Ações podem ser modeladas por software para simulação bem documentado e pode ser alcançada uma calibragem razoável contra os dados medidos de energia e demanda.

#### 3.5

#### **Concordância com o PIMVP**

O PIMVP é uma estrutura de definições e métodos para avaliar economias de energia. Ele foi projetado para permitir aos usuários desenvolver um plano de M&V para um projeto específico. O PIMVP foi escrito para permitir máxima flexibilidade na criação de planos de M&V que vão de encontro às necessidades de projetos específicos, mas que também estejam de acordo com os princípios de precisão, transparência e repetibilidade. No caso onde os usuários necessitem demonstrar, ou desejem alegar concordância com o PIMVP, devem ser levadas em conta as seguintes questões:

- As duas partes devem identificar a organização/pessoa responsável pelas atividades de M&V. Esta organização/pessoa deve ser responsável pela aprovação do local específico do plano de M&V e assegurar que ele seja seguido durante o período do contrato.
- O plano de M&V deve estabelecer claramente qual Opção do PIMVP (ou a combinação delas) e métodos (regressão linear, regressão múltipla, método bin etc.) será utilizada para determinar as economias de energia.
- As duas partes devem concordar quanto ao local específico do plano que especifique a medição/monitoramento a ser realizada. O plano deve estabelecer claramente como o uso de energia e as condições do ano-base devem ser estabelecidas, incluindo: quais medições devem ser feitas, como devem ser utilizados os dados, quais variáveis devem ser estipuladas e em que base. O plano deve fornecer informações sobre o equipamento para medição, sua calibragem, o local das medições, a duração do período de medição, a precisão do processo de medição etc.
- O plano de M&V deve especificar os detalhes de como os cálculos devem ser feitos pelo estabelecimento de variáveis (horas de operação, consumo elétrico num aparelho para iluminação, kW/t etc.) que devem ser medidas e quaisquer hipóteses associadas.
- As duas partes devem concordar sobre como deve ser mantida a garantia da qualidade e confirmada a resposta.
- O plano de M&V deve listar os relatórios a serem preparados, seu conteúdo e formatos e estipulado um período de tempo durante o qual eles devem ser fornecidos.
- Toda a terminologia deve ser consistente com as definições do PIMVP.

## Capítulo 4 - Questões Comuns<sup>6</sup>

- 4.1- Os Fatores que Afetam o Desempenho das Economias
- 4.2- Incerteza na Avaliação das Economias
- 4.3- Padrões Mínimos de Energia
- 4.4- Condições Mínimas de Operação
- 4.5- Preços da Energia
- 4.6- Verificação por Uma Terceira Parte
- 4.7- Dados para Certificados de Emissão
- 4.8- Ajustamentos da Base (Não Rotineiros)
- 4.9- Dados de Clima
- 4.10- Custo
- 4.11- Balanço entre a Incerteza e o Custo

### **4.1 Os Fatores que Afetam o Desempenho das Economias**

Muitos fatores afetam o desempenho do equipamento e o alcance das economias. Dependendo do escopo da determinação das economias (seus limites), a extensão dos parâmetros de interesse pode ser muito concentrada (Ações específicas) ou tão grande quanto toda a instalação.

Os parâmetros previsíveis e mensuráveis podem ser usados para ajustamentos de rotina na Equação 1 do Capítulo 3. Tais ajustamentos reduzem a variabilidade nas economias registradas, ou fornecem um maior grau de certeza. Os parâmetros não previstos nos limites de uma determinação de economias necessitam de futuros ajustamentos de base não rotineiros (e.g., perda futura de locatários). Os parâmetros não medidos dão lugar a flutuações de economias para as quais os ajustamentos não podem ser computados, apenas estimados (e.g., taxa de infiltração de ar).

Entretanto, quando se planeja um processo de M&V, deve-se ter cuidado com 1) previsibilidade; 2) mensurabilidade e 3) provável impacto de todos os fatores plausíveis em cada uma das categorias abaixo:

- Clima
- Nível de ocupação, horário
- Intensidade dos equipamentos instalados, horário
- Demanda do ocupante ou usuário por serviços (e.g., temperatura, produtividade total da planta)
- Capacidade da Ação para alcançar as economias pretendidas
- Efetividade da implementação da Ação para alcançar o objetivo do projeto
- Cooperação do ocupante ou operador no uso do equipamento relativo à Ação, de acordo com as instruções
- Cooperação do ocupante ou operador no uso do equipamento não relativo à Ação de acordo com as instruções
- Deterioração do equipamento relativo ou não à Ação
- Vida útil do equipamento relativo ou não à Ação

### **4.2 Incerteza na Avaliação das Economias**

O esforço despendido para determinar economias deve ser concentrado no gerenciamento da incerteza criada no processo de determinação. As Ações com as quais a equipe da instalação está familiarizada podem necessitar de menos esforço que outras, as Ações incomuns.

O processo de determinação das economias por si só introduz incertezas por

---

<sup>6</sup> As Questões Comuns que surgem ao se usar as opções constantes no Capítulo 3 são discutidas nesta Seção. As questões sobre medição encontram-se no Capítulo 5.

- Erro de Instrumentação
- Erro de Modelagem
- Erro de Amostragem
- Hipóteses planejadas ou não

Os métodos para quantificar os três primeiros erros são discutidos no Anexo B. Conforme usado neste protocolo, a preocupação com o erro de amostragem não se refere a procedimentos estatísticos rigorosos, mas às melhores práticas conforme discutido no Anexo A. Ver também Redley & Claridge (2000) que aplica os métodos de análise de erro padrão ao cenário típico de determinação de economias.

A última categoria acima abrange todos os erros não quantificáveis associados às estipulações e às previsões necessárias para medir e determinar as economias.

É possível quantificar muitas mas não todas as dimensões da incerteza para determinar as economias. Portanto, ao planejar um processo de M&V, deve ser levada em consideração a quantificação dos fatores de incerteza enumeráveis e estimar qualitativamente os não quantificáveis. O objetivo é considerar todos os fatores que criam incerteza, qualitativa ou quantitativamente.

A precisão de uma estimativa de economias pode ser melhorada de duas maneiras gerais. Uma, pela redução das distorções utilizando-se melhores informações ou valores medidos ao invés de valores admitidos ou estipulados. A segunda, pela redução dos erros aleatórios, seja pelo aumento dos tamanhos dos exemplos, usando um projeto mais eficiente, seja pela aplicação de melhores técnicas de medição. Na maioria dos casos, melhorar a precisão por meio de qualquer uma destas maneiras aumenta o custo de M&V. Este custo extra deve ser justificado pelo valor da informação melhorada. (ver Capítulo 4.11).

A incerteza quantificada deve ser expressa de modo estatisticamente satisfatório, isto é, declarando os níveis de precisão e de confiabilidade. Por exemplo. “O erro quantificável é encontrado, com 90% de confiabilidade, em + 20%.” Uma declaração de precisão estatística sem um nível de confiabilidade é sem sentido, uma vez que a precisão pode parecer muito boa se o nível de confiança for baixo.

O nível adequado de precisão para qualquer determinação de economias é estabelecido pelas partes envolvidas. O Anexo B discute algumas questões relativas a este assunto.

Para prédios, devem ser usados um ou mais anos inteiros de dados sobre uso de energia e clima para traçar os modelos de regressão. Períodos mais curtos levam a mais incerteza devido a não haver dados sobre todos os modos de operação. Os melhores previsores do uso de energia anual para refrigeração e aquecimento são os modelos de conjuntos de dados com temperaturas médias perto da média anual. A extensão da variação dos valores de temperatura diária no conjunto de dados parece ser de importância secundária. Os conjuntos de dados de um mês na primavera e outono, quando se aplicam as condições acima, podem ser melhores previsores do uso anual de energia do que conjuntos de dados de cinco meses de inverno e verão.

A extensão necessária do período de medição ou monitoramento depende do tipo de Ação. Se, por exemplo, a Ação afeta um sistema que opera de acordo com um horário bem definido sob uma carga constante, tal como um motor de exaustão de velocidade constante, o período necessário para determinar as economias anuais poderia ser curto. Neste caso, economias de energia de curto prazo podem ser facilmente extrapoladas para o ano inteiro. Entretanto, se o uso de energia do projeto varia ao longo do dia e estações do ano, como nos equipamentos de ar condicionado, pode ser necessário um período de medição e monitoramento mais longo para caracterizar o

sistema. Neste caso, são utilizados dados de longo prazo para determinar as economias anuais de energia.

Se o consumo de energia do equipamento medido ou sistemas variar para mais de 10% de mês para mês, devem ser feitas medições adicionais com detalhes suficientes e por um período de tempo longo o bastante para identificar e documentar a origem das variações. Qualquer variação maior no consumo de energia devido a aumentos sazonais da produção ou flutuações periódicas na ocupação ou uso deve ser localizada e registrada.

#### **4.3 Padrões Mínimos de Energia**

Quando é necessário um certo nível de eficiência, seja legal, seja pelos padrões do cliente, as economias devem ser baseadas na diferença entre o uso de energia pós-retrofit e o padrão mínimo. Nestas situações, o uso de energia do ano-base pode ser estabelecido como igual ou menor do que os padrões mínimos de energia aplicáveis. O “Building Energy Standards and Guidelines Program (BSGP) do Departamento de Energia dos Estados Unidos, disponível no site [www.eren.doe.gov/buildings/codes/standards/buildings](http://www.eren.doe.gov/buildings/codes/standards/buildings), apresenta informações sobre códigos para construções residenciais, comerciais e federais.

#### **4.4 Condições Mínimas de Operação**

Um programa de eficiência energética não deve comprometer as operações da instalação à qual ele é aplicado sem a concordância dos usuários, sejam eles os ocupantes ou os gerentes do processo industrial. Portanto, o Plano de M&V deve registrar as condições estipuladas que serão mantidas (ver Capítulo 3.3).

O Volume II do PIMVP – Conceitos e Práticas para Melhoria da Qualidade Ambiental Interna – sugere métodos para monitoramento das condições do espaço interno através de um programa de eficiência energética.

#### **4.5 Preços da Energia**

As economias com o custo de energia podem ser calculadas aplicando-se o preço de cada unidade de energia ou demanda à determinação das economias. O preço da energia deve ser uma lista padrão do supridor de energia, ou uma simplificação apropriada disto. As simplificações apropriadas usam os preços marginais que consideram todos os aspectos do faturamento afetados pelos valores medidos, como cargas de consumo e de demanda, créditos do transformador, fator de potência, faixas de demanda, descontos prévios de pagamentos.

Um exemplo de cálculo de economias com custo de energia encontra-se no Anexo A (Opção D).

#### **4.6 Verificação por Uma Terceira Parte**

Quando a empresa que estiver fazendo a determinação das economias de energia for mais experiente do que o cliente, este pode procurar assistência para revisar os relatórios sobre as economias. Tal assistência deve começar na época da primeira revisão do Plano de M&V, para assegurar que o processo para determinar as economias irá de encontro aos objetivos do cliente. A revisão deve continuar com os relatórios de rotina das economias e ajustamentos da base. Uma revisão completa dos ajustamentos da base requer um bom entendimento da instalação e suas operações. Para esta última finalidade, os resumos do cliente das condições de operação reduzirão o escopo, o trabalho e o custo do verificador externo.

Um contrato de performance de energia requer que ambas as partes acreditem que as informações sobre as quais os pagamentos se baseiam sejam válidas e exatas. Uma terceira parte experiente pode ser útil para assegurar concordância com a medição e validade. Se surgirem conflitos sobre o andamento do período de payback do projeto, esta terceira parte pode ajudar a solucionar as diferenças.

Os verificadores das economias são tipicamente consultores de engenharia com experiência e conhecimento em verificação de economias e tecnologias de Ações e,

onde relevante, em contratos de desempenho de energia. Muitos são membros de sociedades profissionais industriais, embora não haja ainda qualquer programa de reconhecimento para profissionais de M&V.

#### **4.7 Dados para Certificados de Emissão**

O PIMVP já foi reconhecido como valioso em algumas regiões para verificar as economias e assegurar benefícios financeiros reconhecidos por programas de negociação de agentes poluidores e espera-se que seja uma parte da norma internacional sobre comercialização. A utilização deste Protocolo pode dar confiabilidade à medição das efetivas economias de energia e portanto maior confiabilidade na determinação das reduções associadas nas emissões. Ele está se tornando um elemento importante para atenuar as emissões dos gases do efeito estufa e programas de negociação de agentes poluidores devido à grande participação internacional em seu desenvolvimento e sua crescente adoção internacionalmente.

Combinado com o Plano específico de M&V de cada projeto, este Protocolo aumenta a consistência de relatórios e permite a verificação das economias de energia. Não obstante, para verificar um crédito por emissão este Protocolo e o Plano de M&V devem ser utilizados em conjunto com o guia específico para programa de comercialização de créditos sobre conversão das economias de energia, nas equivalentes reduções de emissões.

Os certificados de emissão serão simplificados se os seguintes métodos para relatórios de energia forem considerados ao elaborar o processo para determinação das economias:

- As economias elétricas devem ser divididas em período de pico e períodos fora de pico e estação com e sem ozônio quando houver óxido de nitrogênio ou VOCs. Estes períodos serão definidos pelos programas de negociação.
- As reduções nas compras do “grid” devem ser divididas naquelas devido a redução de carga e naquelas devido a aumento de geração própria na instalação.
- As economias devem ser separadas naquelas que são “excedentes” ou “adicionais” para comportamento normal e aquelas que são apenas habituais ao negócio ou precisam estar de acordo com a regulamentação existente. Estes termos serão definidos pelos programas de negociação. Por exemplo, onde os padrões mínimos de eficiência do equipamento limitarem a eficiência dos novos equipamentos no mercado, estes padrões podem formar a referência para determinar os créditos negociáveis derivados de economias de energia.
- Separar as economias de energia em cada local se um projeto engloba um conjunto de cargas, ou se as quantidades das emissões puderem estar fora dos valores de referência.
- Separar as economias por combustível ou tipo de caldeira se diferentes taxas de emissão se aplicarem a cada equipamento de combustão.

#### **4.8 Ajustamentos da Base (Não-Rotineiros)**

As condições que variam de uma forma previsível são normalmente incluídas no modelo matemático básico utilizado para os ajustamentos de rotina descritos no Capítulo 3.4. Quando ocorrem mudanças inesperadas ou únicas, podem ser necessários ajustamentos não-rotineiros, normalmente chamados simplesmente de Ajustamentos da Base.

São exemplos de situações que frequentemente necessitam de Ajustamentos da Base: i) mudanças no volume de espaço que está sendo aquecido ou resfriado; ii) mudanças no volume ou no uso do equipamento; iii) mudanças nas condições ambientais (níveis de iluminação, regulação de temperaturas etc.) para ficarem de acordo com os padrões e iv) mudanças na ocupação, horários ou produtividade total.

Não são necessários Ajustamentos da Base onde:

- A variável está incluída no modelo matemático desenvolvido para o projeto
- Mudanças afetam uma variável que foi estipulada no Plano de M&V. Por

exemplo, se o número de toneladas-hora de resfriamento foi estipulado para uma Ação na eficiência de chiller, um aumento desses valores na refrigeração não afetará as economias determinadas pelo método simplificado, ainda que as economias reais se modifiquem.

- As mudanças que ocorrem no equipamento além dos limites da determinação das economias. Por exemplo, se o limite inclui apenas o sistema de iluminação, para um aparelho de iluminação, a colocação de computadores pessoais no espaço não afetará a determinação das economias.

As condições do ano-base necessitam ser bem documentadas no Plano de M&V, de modo que possam ser feitos os ajustamentos adequados (ver Capítulo 3.3). Também é importante dispor de um método para localizar e registrar mudanças nessas condições. Isto pode ser feito por um ou mais dos proprietários da instalação, o agente determinador das economias ou um verificador da terceira parte. Deve ser estabelecido no Plano de M&V quem localizará e reportará cada condição registrada para o ano-base e o que, se quaisquer outros aspectos da operação da instalação serão monitorados.

Onde a natureza das mudanças futuras puder ser prevista, devem ser incluídos no Plano de M&V os métodos para proceder os Ajustamentos da Base não rotineiros.

Os Ajustamentos da Base não-rotineiros são determinados por mudanças físicas reais ou previstas no equipamento ou nas operações. Às vezes pode ser difícil identificar o impacto das mudanças. Se o registro do consumo de energia da instalação for utilizado para identificar tais mudanças, o impacto das Ações no consumo de energia medido deve ser inicialmente retirado com as técnicas da Opção B.

#### **4.9 Dados de Clima**

Onde forem utilizadas medições mensais de energia, devem ser registrados os dados de clima diariamente e combinados com o efetivo período de medição de energia.

Para análises mensais ou diárias, os dados oficiais sobre clima devem ser tratados como os mais precisos e prováveis. Entretanto, os dados destas fontes podem não estar disponíveis tão rapidamente quanto os dados do local.

Quando se analisa a resposta do uso da energia ao clima com modelos matemáticos, podem ser usados os dados de temperatura média diária ou graus dia de resfriamento.

#### **4.10 Custo**

O custo para determinar as economias depende de muitos fatores tais como:

- A Opção do PIMVP selecionada
- O número de Ações, complexidade e valor de interação entre elas
- O número de fluxos de energia através da linha limite em torno da Ação para isolá-la do restante da instalação na Opção A, B ou D quando aplicada a um sistema apenas
- O nível de detalhe e o esforço associado para estabelecer as condições do ano-base necessárias para a Opção selecionada
- O valor e complexidade do equipamento para medição (projeto, instalação, manutenção, calibragem, leitura, retirada)
- Tamanhos das amostras utilizadas para medir o equipamento representativo
- O valor da parte de engenharia necessário para fazer e apoiar as estipulações usadas na Opção A ou as simulações calibradas da Opção D
- O número e complexidade das variáveis independentes que são avaliadas nos modelos matemáticos
- A duração das atividades de medição e relatórios
- Os requisitos de precisão
- Os requisitos para os relatórios das economias
- O processo para rever ou verificar as economias

- A experiência e as qualificações profissionais do pessoal encarregado da determinação das economias

Muitas vezes estes custos podem ser compartilhados com outros objetivos como controle em tempo real, feedback operacional ou subfaturamento do locatário.

É difícil generalizar a respeito de custos para as diferentes Opções do PIMVP, uma vez que cada projeto terá seu próprio e único conjunto de restrições. Portanto deve ser um objetivo do planejamento de M&V ter um processo em que não haja custo maior do que o necessário para proporcionar a exatidão e comprovação adequadas das economias, consistente com o orçamento geral para as Ações. Tipicamente embora não seja esperado que a média anual dos custos para determinar as economias exceda mais do que 10% da média anual das economias estimadas.

A Tabela 2 realça os fatores do custo únicos a cada Opção, ou não listados acima:

**Tabela 2: Elementos Únicos dos Custos de M&V**

<b>Opção A</b>	Número de pontos de medição Complexidade da estipulação Frequência da inspeção pós-retrofit
<b>Opção B</b>	Número de pontos de medição
<b>Opção C</b>	Número de medidores Número de variáveis independentes necessárias para avaliar a maioria da variabilidade nos dados de energia
<b>Opção D</b>	Número e complexidade dos sistemas simulados Número de medições de campo necessárias para prover dados de entrada Habilidade do profissional em simulação para alcançar a calibragem

Geralmente, uma vez que a Opção A requer estipulação, ela terá menos pontos de medição e menor custo, desde que os custos de estipulação e inspeção não sejam maiores.

Uma vez que novos equipamentos de medição muitas vezes estão incluídos nas Opções A ou B, o custo de manutenção destes equipamentos pode tornar a Opção C menos onerosa para períodos de monitoramento longos. Entretanto, como mencionado acima, os custos de medidores extras para as Opções A ou B podem ser compartilhados com outros objetivos.

Quando são instaladas Ações múltiplas num local, pode ser menos oneroso utilizar os métodos de todo o prédio das Opções C ou D do que isolar e medir Ações múltiplas com as Opções A ou B.

Embora o desenvolvimento e a calibragem de um modelo de simulação na Opção D seja muitas vezes um processo longo, ele pode ter outros usos como para planejamento das próprias Ações ou planejar uma nova instalação.

Quando um empreiteiro (ESCO) é o responsável por apenas certos aspectos do desempenho do projeto, outros aspectos podem não ter que ser medidos para fins contratuais, embora o cliente ainda possa querer medir todos os aspectos por sua própria conta. Nesta situação, os custos de medição podem ser compartilhados entre o cliente e o empreiteiro.

#### **4.11 Balanço entre a Incerteza e o Custo**

O nível de incerteza aceitável requerido num cálculo de economias é uma função do nível de economias e do custo efetivo da diminuição da incerteza. Por exemplo, supondo-se que um projeto tenha uma economia esperada de \$ 100.000 por ano e que a abordagem básica de M&V uma precisão não mais do que  $\pm 25\%$  com 90% de

confiabilidade, ou \$ 25.000 por ano. Para levar a precisão para a casa dos \$ 10.000, deve ser visto como razoável despende \$ 5.000 extras por ano em M&V, mas não \$ 30.000 por ano. A quantidade de economias em risco entretanto limita os gastos com M&V.

Outros benefícios das atividades para reduzir a incerteza podem ser a disponibilidade de melhor feedback para as operações, permitindo um aumento de economias ou outras variáveis operacionais. As informações também podem ser úteis para avaliar o tamanho dos equipamentos para planejar a expansão da planta ou substituições de equipamentos. Também pode permitir que sejam feitos pagamentos maiores num contrato de desempenho de energia baseado em valores medidos x valores conservadores estipulados. Os investimentos adicionais para melhorar a precisão não devem ultrapassar o aumento esperado em valor. Esta questão é discutida com mais detalhes por Goldberg (1996b).

As discussões e definições dos planos de M&V de local específico devem incluir a consideração dos requisitos para precisão para as atividades de M&V e a importância de relacionar os custos de M&V e a precisão ao valor das economias com a Ação. Embora deva ser reconhecido que nem todas as incertezas podem ser quantificadas (ver Capítulo 4.2). Portanto, as incertezas quantitativas e qualitativas devem ser consideradas quando forem estudadas as opções de custo de M&V para cada projeto.

Para um dado modelo para determinação de economias num local específico, haverá um plano ótimo para tal. O método para identificar que o Plano inclui consideração interativa de sensibilidade das incertezas de economias para cada variável, estimando o custo para medição de variáveis específicas no modelo e um critério para avaliar a incerteza reduzida (e.g., ajustamento do risco da economia por uma fórmula dada).

## Capítulo 5 - Questões da Medição

- 5.1- Uso dos Medidores da Concessionária
- 5.2- Demanda Elétrica
- 5.3- Técnicas para Instrumentação e Medição
- 5.4- Calibragem da Instrumentação
- 5.5- Erros de Coleta e Dados Perdidos
- 5.6- O Uso de Sistemas de Gerenciamento de Energia para a Coleta de Dados

- 5.1  
Uso dos Medidores da Concessionária**
- As medições de energia de todo o prédio podem utilizar os mesmos medidores que a empresa distribuidora local usa para faturar o cliente se eles forem equipados ou modificados para fornecer um sinal de saída que possa ser registrado pelo equipamento para monitoramento da instalação. O “pulso de energia” constante do transmissor de pulso deve ser calibrado contra uma referência conhecida, da mesma forma que os dados registrados pelo medidor da empresa.
- 5.2  
Demanda Elétrica**
- Os métodos para medir a demanda elétrica variam entre as concessionárias. O método utilizado por qualquer medidor secundário ou rotina de modelagem deve repetir aquele que a empresa de energia utiliza para fazer o faturamento. Por exemplo, se a empresa local calcula o pico da demanda utilizando uma “janela fixa” de 15 minutos, o equipamento deve ser ajustado para registrar os dados a cada 15 minutos. Portanto, se a empresa elétrica usar uma “janela deslizante” para registrar os dados de demanda elétrica, o registrador de dados deve ter a propriedade de registrar janela deslizante. Tal propriedade da janela pode ser duplicada por dados de registro a intervalos fixos de um minuto e então recriar os 15 minutos deslizantes usando um programa pós-processamento. Muito frequentemente as medições de 15 minutos de janela fixa representarão razoavelmente bem os dados de 15 minutos deslizantes. Contudo, deve-se ter cuidado em assegurar que a instalação não tenha combinações de equipamentos fora do comum que gerem altas cargas de um minuto de pico que podem aparecer num intervalo de janela deslizante e não numa janela fixa. Após processar os dados da análise de demanda, os dados de 15 minutos podem então ser convertidos para dados horários para arquivo e análise posterior contra os dados horários de clima.
- 5.3  
Técnicas para Instrumentação e Medição**
- Medidores especiais podem ser utilizados para medir quantidades físicas ou medição secundária de um fluxo de energia. Exemplos de quantidades que podem ter que ser medidas sem o uso de medidores de entrada de energia são temperatura, umidade, fluxo, pressão, período de operação de equipamentos, eletricidade e energia térmica. Para determinar as economias de energia com precisão razoável e repetibilidade, devem ser seguidas boas práticas de medição dessas quantidades. Tais práticas estão em contínua evolução, à medida que se aperfeiçoam os equipamentos de medição. Recomenda-se que sejam seguidas as práticas de medição mais atualizadas para apoiar qualquer determinação de economias. O Anexo C faz uma revisão de algumas técnicas de medição comuns. A página do PIMVP contém referências atualizadas sobre técnicas para medição.
- 5.4  
Calibragem da Instrumentação**
- É altamente recomendado que a instrumentação seja calibrada com os procedimentos desenvolvidos pelo National Institute of Standards and Technology (NIST). Onde possível, devem ser utilizados padrões primários e equipamentos para calibragem não menos que os de terceira ordem determinados pelo NIST. Os sensores e equipamentos de medição devem ser selecionados com base em parte na facilidade de calibragem e na capacidade de mantê-la. Uma boa solução é optar por equipamentos auto-calibrantes.

O Capítulo 6.2 apresenta referências selecionadas sobre calibragem, incluindo: ASTM (1992), Baker e Hurley (1984), Benedict (1984), Bryant e O'Neal (1992), Cortina (1988), Doebelin (1990), EEI (1981), Haberl et al. (1992), Harding (1982), Huang (1991), Hurley e Schooley (1984), Hurley (1985), Hyland e Hurley (1983), Kulwicki (1991), Leider (1990), Liptak (1995), Miller (1989), Morrissey (1990), Ramboz e McAuliff (1983), Robinson et al. (1992), Roos e White (1990), Sparks (1992), Wiesman (1989), Wise (1976), Wise e Soulen (1986).

### **5.5 Erros de Coleta e Dados Perdidos**

As metodologias para coleta de dados diferem em grau de dificuldade e, conseqüentemente, no volume de dados errados ou faltantes. Nenhuma coleta é sem erros. O Plano de M&V deve considerar dois aspectos dos problemas de coleta de dados:

- Estabelecer o número máximo aceitável de perda de dados e como serão medidos. Este nível deve ser parte da consideração geral de precisão. O nível de perda de dados pode afetar drasticamente o custo.
- Estabelecer uma metodologia pela qual os dados faltantes ou errados sejam intercalados para análise final. Em tais casos, os modelos do ano-base e pós-retrofit podem ser usados para calcular as economias.

### **5.6 O Uso de Sistemas de Gerenciamento de Energia para a Coleta de Dados**

O *sistema de gerenciamento de energia*<sup>7</sup> (SGE) pode fornecer muito do monitoramento necessário para a coleta de dados. Entretanto, o sistema e o software devem ser bem especificados para fornecer este serviço extra, assim como sua função primária de controle de tempo real. Por exemplo, o uso significativo de funções de tendência pode comprometer as funções básicas do SGE. Alguns parâmetros a serem monitorados podem não ser necessários controlar. Estes pontos extras devem ser especificados nos documentos do projeto. Um exemplo é a medição da potência elétrica. A tendência de pequenas cargas, iluminação e consumo do alimentador principal podem ser muito úteis para a determinação de economias de alta qualidade e feedback operacional, mas inúteis para controle em tempo real.

Outras funções que podem ser facilmente incorporadas ao software são registro automático de mudanças em regulagens.

Não é incomum que muitas das tendências necessárias para verificação sejam incorporadas a um SGE. Entretanto, devem ser providenciados equipamento (“hardware”) e software adequados, uma vez que a tendência dos dados pode influenciar o processamento do computador, a largura da faixa de comunicação e a armazenagem.

A equipe da instalação deve ser treinada adequadamente neste uso do SGE de modo que também possa desenvolver sua própria informação de tendência dos dados para diagnosticar problemas do sistema, desde que o sistema tenha a capacidade para aceitar uma tendência extra. Portanto, onde um empreiteiro for responsável por algumas operações controladas pelo sistema, providências para segurança do SGE devem assegurar que as pessoas possam apenas ter acesso a funções para as quais sejam competentes e autorizadas.

A equipe de projeto e monitoramento do SGE pode ter uma conexão direta de “apenas leitura” via uma ligação por modem de modo que ela possa inspecionar facilmente a tendência dos dados do escritório. Portanto, as preocupações com possíveis ataques de vírus e a segurança do computador devem ser tratadas nesta situação.

O SGE pode registrar o uso de energia com sua tendência. Todavia, a maioria dos

---

<sup>7</sup> Os termos em itálico estão definidos no Capítulo 6.1.

SGEs registra “mudança de valor” (MV) em registros de eventos que não são diretamente usados para cálculo das economias de energia sem seguir intervalos de tempo entre eventos de MV individuais (Claridge et al. 1993), Heinemeier e Akbari (1993). É possível estreitar os limites de MV para forçar tendência para intervalos mais regulares, mas isto pode sobrecarregar os sistemas que não são planejados para tais densidades de dados. Deve-se ter muito cuidado para:

- Controlar o acesso e/ou mudanças nas tendências dos registros nos SGE dos quais são extraídos os dados de energia.
- Desenvolver rotinas pós-processamento para mudar os dados de MV do SGE em dados de séries de tempo para fazer uma análise.
- Conseguir com o fornecedor do SGE:
  - Calibrações prováveis (NIST) de todos os sensores,
  - Prova que os algoritmos registrados para contagem e totalização de dados de pulsos, Btus e kWh são exatos. (Atualmente, não há padrões industriais para fazer esta análise (Sparks et al. 1992) e
  - Compromisso de que há capacidade de processamento e armazenagem adequadas para manusear a tendência de dados enquanto suporta as funções de controle do sistema.

## Capítulo 6 - Definições e Referências

6.1 Definições
6.2 Referências
6.3 Fontes

### 6.1 Definições

**Ajustamentos da Base** – Os ajustamentos não-rotineiros (Capítulo 3.4) que surgem durante o período pós-retrofit que não podem ser antecipados e que requerem o uso de análises de engenharia (ver Capítulo 4.8).

**Condições do ano-base** – O conjunto de condições que deram origem ao uso/demanda de energia no ano-base.

**Dados de energia do ano-base** – O consumo de energia ou demanda durante o ano-base.

**Ano-base** – Um período definido de qualquer extensão antes da implementação da(s) ACEs.

**Comissionamento** – Processo para realizar, verificar e documentar o desempenho do equipamento para satisfazer as necessidades operacionais da instalação dentro do projeto e sua documentação e os critérios funcionais do cliente, incluindo a preparação do pessoal de operação.

**CV** - Coeficiente de Variação do EMQ (Erro Médio Quadrático) (ver Anexo B).

**Graus-dia** – É a medida da carga de aquecimento ou resfriamento numa instalação trazida pela temperatura externa. Quando a temperatura média diária externa está um grau abaixo de uma temperatura de referência estabelecida como 18°C para um dia, define-se que há um grau-dia de aquecimento. Se esta diferença de temperatura prevaleceu por dez dias, houve dez graus-dia contados para o período total. Se a diferença de temperatura fosse 12 graus por 10 dias, seriam contados 120 graus-dia de aquecimento. Quando a temperatura do ambiente estiver abaixo da temperatura de referência, define-se que são contados graus-dia de aquecimento. Quando as temperaturas do ambiente estiverem acima da referência, são contados graus-dia de resfriamento. Qualquer temperatura de referência pode ser usada para registrar os graus-dia, geralmente escolhida para refletir a temperatura para a qual não é mais necessário aquecimento ou resfriamento.

**Ação para Conservação/Eficiência de Energia (ACE/AEE)** – Um conjunto de atividades destinadas a aumentar a eficiência energética em uma instalação. Muitas Ações podem ser desenvolvidas a um só tempo, cada uma com diferente intensidade. Uma Ação pode incluir uma ou mais: mudanças físicas no equipamento da instalação, revisões dos procedimentos de operação e manutenção, mudanças em softwares ou novos métodos de treinamento ou administrar os usuários do espaço ou o pessoal de operações e manutenção.

**SGE ou Sistema de Gerenciamento de Energia** – Um computador que pode ser programado para controlar e/ou monitorar as operações de equipamentos que consomem energia numa instalação.

**Contrato de Desempenho de Energia** – Um contrato entre duas ou mais partes onde o pagamento é baseado em resultados específicos; usualmente, reduções garantidas no consumo de energia e/ou custos de operação.

**Economias de Energia** – Redução efetiva no consumo de eletricidade (kWh), demanda (kW) ou unidades térmicas (BTU).

**CDEE ou Contrato de Desempenho de Economias de Energia** – Um termo usado nos Estados Unidos equivalente a Contrato de Desempenho de Energia.

**ESCO ou Empresa de Serviços de Energia** – Uma empresa que realiza uma série de serviços de eficiência energética e financiamento e garante que serão alcançados resultados específicos descritos num contrato de desempenho.

**M&V ou Medição e Verificação** – O processo para determinar economias utilizando uma das quatro Opções do PIMVP.

**Medir** – Coletar dados de consumo de energia e água por um período numa instalação através do uso de aparelhos para medição.

**Monitoramento** – A coleta de dados numa instalação por um período com a finalidade de analisar as economias (i.e., consumo de energia e água, temperatura, umidade, horas de operação etc.).

**Opção de M&V** – Uma das quatro abordagens genéricas de M&V definidas para determinar as economias de energia.

**Período pós-retrofit** – Qualquer período de tempo seguinte ao comissionamento da Ação.

**R<sup>2</sup>** – Raiz quadrada (ver Anexo B).

**Modelo de Regressão** – Modelo matemático inverso que necessita de dados para retirar parâmetros descrevendo a correlação de variáveis independentes e dependentes.

**EMQ** – Erro Médio Quadrático (ver Anexo B).

**Modelo de Simulação** – Um conjunto de algoritmos que calcula o uso de energia com base em equações de engenharia e parâmetros definidos.

**Verificação** – O processo para examinar o relatório de outros para comentar sobre sua adequação ao objetivo pretendido.

## 6.2 Referências

Nota: As referências seguintes são citadas para fornecer ao leitor fontes de informações adicionais. Elas consistem de publicações, livros didáticos e relatórios de agências governamentais, laboratórios nacionais, universidades, organizações profissionais e outras autoridades em análise energética. Tomou-se cuidado para, na maioria dos casos, citar a publicação, o editor ou a fonte onde o documento pode ser obtido.

1. Akbari, H., Heinemeier, K.E., LeConiac, P. e Flora, D.L. 1988. "An Algorithm to Disaggregate Commercial Whole-Facility Hourly Electrical Load Into End Uses". Anais do ACEEE 1988 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 10, p. 10.14-10.26.
2. ASHRAE Guideline I – 1996. The HVAC Commissioning Process. American Society of Heating, Ventilation, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
3. ASHRAE Proposed Guideline 14P, Measuring Energy and Demand Savings, minuta disponível para revisão pública de abril a junho de 2000. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
4. ASHRAE 1989. Na Annotated Guide to Models and Algorithms for Energy Calculations Relating to HVAC Equipment, American Society of Heating, Ventilating, and Air

- Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
5. ASHRAE 1997. Handbook: Fundamentals, Chapter 30 – “Energy Estimating and Modeling Methods”, Atlanta, Georgia.
  6. ASTM 1992. Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
  7. Baker, D. e Hurley, W. 1984. “On-Site Calibration of Flow Metering Systems Installed in Buildings”. NBS Building Science Series Report No. 159, janeiro.
  8. Benedict, R. 1984. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurement. John Wiley and Sons, New York, New York.
  9. Benton, C., Chace, J., Huizenga, C., Hyderman, M. e Marcial, R. 1996. “Taking A Building’s Vital Signs: A Lending Library of Handheld Instruments”. Anais da ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1996, Vol. 4, p. 4.11-4.21.
  10. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1995. “HVAC01 Toolkit for 20 Primary HVAC Energy System Calculations”, relatório final apresentado à ASHRAE.
  11. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1994a. “Toolkit for Primary HVAC System Energy Calculation – Part 1: Boiler Model”. ASHRAE Transactions, Vol. 100, Pt.2.
  12. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1994b. “Toolkit for Primary HVAC System Energy Calculation – Part 2: Reciprocating Chiller Models”. ASHRAE Transactions, Vol. 100, Pt.2.
  13. Bou Saada, T.E. e Haberl, J.S. 1995a. “A Weather Daytipping Procedure for Disaggregating Hourly End-Use Loads in an Electrically Heated and Cooled Building from Whole-facility Hourly Data”. 30<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Energy Conference, de 30 de julho a 4 de agosto.
  14. Bou Saada, T.E. e Haberl, J.S. 1995b. “An Improved Procedure of Building Simulation”, 1995, p. 475-484.
  15. Bou Saada, T.E. e Haberl, J.S., Vajda, J. e Harris, L., 1996. “Total Utility Savings From the 37.000 Fixture Lighting Retrofit to the USDOE Forrestal Building”, Anais da ACEEE Summer Study, agosto de 1996.
  16. Brandemuel, M. 1993. HVAC02: Toolkit: Algorithms and Subroutines for Secondary HVAC Systems Energy Calculations, American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
  17. Bryant, J. e O’Neal, D. 1992. “Calibration of Relative Humidity Transducers for use in the Texas LoanSTAR Program”. Anais da Hot and Humid Conference, 1992, Texas A&M University, Energy Systems Laboratory, Report N° ESL-PA-92/02-15.
  18. Claridge, D., Haberl, J., Bryant, J., Poyner, B. e McBride, J. 1993. “Use of Energy Management and Control Systems for Performance Monitoring of Retrofit Projects”, Final Summary Report. USDOE Grant #DE-FG01-90CE21003. Apresentado ao USDOE Office of Conservation and Energy, Energy Systems Laboratory Report ESL-TR-91/09/02, Texas A&M University, março.
  19. Claridge, D., Haberl, J., Liu, M., Houcek, J. e Athar, A. 1994. “Can You Achieve 150% of Predicted Retrofit Savings? Is it Time for Recommissioning?”, Anais da ACEEE Summer Study, p. 5.73-5.88, agosto de 1994.
  20. Claridge, D., Haberl, J., Liu, M e Athar, A. 1996. “Implementation of Continuous Commissioning in the Texas LoanSTAR Program: Can You Achieve 150% os Estimated Retrofit Savings Revisited?” Anais da ACEEE Summer Study, agosto de 1996.
  21. Cortina, V. (ed.) 1988. “Precision Humidity Analysis”. EG&G Environmental Equipment. 151 Bear Hill Road, Waltham, Massachusetts, (IR sensors).
  22. Doebelin, E. 1990. Measurement Systems. McGraw-Hill, New York, New York, ISBN 0-07-017338-9.
  23. EEI 1981. Handbook for Electricity Metering, Edison Electric Institute, Washington, D.C., ISBN-0-931032-11-3.
  24. EPRI 1993. “Fundamental Equations for Residential and Commercial End-Uses”. (Rep. #EPRI TR-100984 V2), Palo Alto, California Electric Power Research Institute.
  25. Fels, M. (ed.) 1986. “Special Issue Devoted to Measuring Energy Savings. The Princeton Scorekeeping Method (PRISM)”, Energy and Buildings, Vol. 9, n°s 1 e 2.
  26. Fels, M., Kissock, K., Marean, M.A. e Reynolds, C. 1995. “Advanced PRISM User’s Guide”. Center for Energy and Environmental Studies Report, Princeton University, Princeton, New Jersey, janeiro.
  27. Goldberg, M.L. 1996a. “The Value of Improved Measurements: Facing the Monsters That Won’t Annihilate Each Other”. Energy Services Journal, 2(1): 43-56.
  28. Goldberg, M.L. 1996b. “Reasonable Doubts: Monitoring and Verification for Performance Contracting”. Anais da ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1996, 4.133-4.143, Washington, D.C. American Council for an Energy-

- Efficient Economy.
29. Haberl, J., Bronson, D. e O'Neal, D. 1995. "Impact of Using Measured Weather Data vs. TMY Weather Data in a DOE-2 Simulation". ASHRAE Transactions, V. 105, Pt. 2, junho.
  30. Haberl, J., Reddy, A., Claridge, D., Turner, D., O'Neal, D. e Heffington, W. 1996. "Measuring Energy-Savings Retrofits: Experiences from the Texas LoanSTAR Program". Oak Ridge National Laboratory Report N° ORNL/Sub/93-SP090/1, fevereiro.
  31. Haberl, J., Turner, W.D., Finstad, C., Scott, F. e Bryant, J. 1992. "Calibration of Flowmeters for use in HVAC Systems Monitoring", Anais ASME/JSES/KSES da International Solar Energy Conference, 1992.
  32. Hadley, D.L. e Tomich, S.D. 1986. "Multivariate Statistical Assessment or Meteorological Influences in Residence Space Heating". Anais da ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1986, Vol. 9, p. 9.132-9.145.
  33. Harding, J. (ed.) 1982. "Recent Advances in Chilled Mirror Hygrometry", General Eastern Corporation Technical Bulletin, 50 Hunt Street, Watertown, Massachusetts.
  34. Heinemeier, K. e Akbari, H. 1993. "Energy Management and Control Systems and Their Use for Performance Monitoring in the LoanSTAR Program", Lawrence Berkeley National Laboratory Report N° LBL-33114-UC-350, junho (preparado para o Texas State Energy Conservation Office).
  35. Houcek, J., Liu, M., Claridge, D., Haberl, J., Katipamula, S. e Abbas, M. 1993. "Potential Operation and Maintenance (O&M) Savings at the State Capitol Complex", Energy Systems Lab Technical Report N° ESL-TR-93/01-07, Texas A&M University, College Station, Texas.
  36. Huang, P. 1991. "Humidity Measurements and Calibration Standards", ASHRAE Transactions, Vol. 97, p. 3521.
  37. Hurley, C.W. e Schooley, J.F. 1984. "Calibration of Temperature Measurement Systems Installed in Buildings", N.B.S. Building Science Series Report N° 153, janeiro.
  38. Hurley, W. 1985. "Measurement of Temperature, Humidity, and Fluid Flow", Field Data Acquisition for Building and Equipment Energy Use Monitoring, ORNL Publication N° CONF-8510218, março.
  39. Hyland, R.W. e Hurley, W. 1983. "General Guidelines for the On-Site Calibration of Humidity and Moisture Control Systems in Buildings". N.B.S. Building Science Series 157, setembro.
  40. IPCC 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneve, Suíça, p. 64.
  41. Katipamula, S. 1996. "The Great Energy Predictor Shootout II: Modeling Energy Use in Large Commercial Buildings". ASHRAE Transactions, Vol. 102, Pt. 2.
  42. Katipamula, S. e Haberl, J. 1991. "A Methodology to Identify Diurnal Load Shapes for Non-Weather-Dependent Electric End-Uses". Anais ASME-JSES da International Solar Energy Conference, 1991, ASME, New York, New York, p. 457-467, março.
  43. Kats, G., Kumar, S. e Rosenfeld, A. 1999. "The Role for an International Measurement & Verification Standard in Reducing Pollution". Anais da ACEEE Summer Study, 1999, Vol. I, Panel 1.
  44. Kats, G., Rosenfeld, A. e McGaraghan, S. 1997. "Energy Efficiency as a Commodity: The Emergence of an Efficiency Secondary Market for Savings in Commercial Buildings". Anais da ACEEE Summer Study, 1997, Vol. I, Panel 2.
  45. Kissock, K., Claridge, D., Haberl, J. e Redley, A. 1992. "Measuring Retrofit Savings for the Texas LoanSTAR Program: Preliminary Methodology and Results". Solar Engineering, 1992. Anais ASME-JSES-SSME da International Solar Energy Conference, Maui, Havaí, abril de 1992.
  46. Kissock, K., Wu, X., Sparks, R., Claridge, D., Mahoney, J. e Haberl, J. 1994. "EModel Version, 1.4d", Energy Systems Laboratory ESL-SW-94/12-01, Texas Engineering Experiment Station, Texas A&M University System, dezembro.
  47. Knebel, D.E. 1983. "Simplified Energy Analysis Using the Modified Bin Method", ASHRAE, Atlanta, Georgia, ISBN 0-910110-39-5.
  48. Kulwicki, B. 1991. "Humidity Sensors", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 74, p. 697-707.
  49. Landman, D. e Haberl, J. 1996a. "Monthly Variable-Based Degree Day Template: A Spreadsheet Procedure for Calculating 3-parameter Change-point Model for Residential or Commercial Buildings". Energy Systems Laboratory Report N° ESL-TR-96/09-02.
  50. Landman, D. e Haberl, J. 1996b. "A Study of Diagnostic Pre-Screening Methods for Analyzing Energy Use of K-12 Public Schools", Energy Systems Laboratory Report N°

- ESL-TR-96/11-01, novembro.
51. Leider, M. 1990. A Solid State Amperometric Humidity Sensor, Journal of Applied Electrochemistry, Chapman and Hill: Vol. 20, p. 964-8.
  52. Liptak, B. 1995. Instrument Engineers Handbook, 3<sup>rd</sup> Edition: Process Measurement and Analysis. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, ISBN 0-8019-8197-2.
  53. Miller, R. 1989. Flow Measurement Handbook, McGraw Hill Publishing Company, New York, New York, ISBN-0-07-042046-7.
  54. Morrissey, C.J. 1990. "Acoustic Humidity Sensor", NASA Tech Brief. Vol. 14, Nº 19, abril, (acústica).
  55. Rabl, A. 1988. "Parameter Estimation in Buildings: Method for Dynamic Analysis of Measured Energy Use", Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 110, p. 52-66.
  56. Rabl, A. e Riahle, A. 1992. "Energy Signature Model for Commercial Buildings: Test With Measured Data and Interpretation". Energy and Buildings, Vol. 19, p. 143-154.
  57. Ramboz, J.D. e McAuliff, R.C. 1983. "A Calibration Service for Wattmeters and Watt-Hour Meters". N.B.S. Technical Note 1179.
  58. Reddy, T. e Claridge, D. 2000. "Uncertainty of "Measured" Energy Savings From Statistical Baseline Models". ASHRAE HVAC&R Research. Vol. 6, Nº 1, janeiro de 2000.
  59. Reynolds, C. e Fels, M. 1988. "Reliability Criteria for Weather Adjustment of Energy Billing Data". Anais da ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1988. Vol. 10, p. 10.237-10.241.
  60. Robinson, J., Bryant, J., Haberl, J. e Turner, D. 1992. "Calibration of Tangential Paddlewheel Insertion Flowmeters". Anais da Hot and Humid Conference, 1992, Texas A&M University, Energy Systems Laboratory Report Nº ESL-PA-92/02-09.
  61. Ross, I.J. e White, G.M. 1990. "Humidity", Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences: Transactions of the ASAE, 2<sup>nd</sup> ed., p.8-01.
  62. Ruch, D. e Claridge, D. 1991. "A Four Parameter Change-Point Model for Predicting Energy Consumption in Commercial Buildings". Anais ASME-JSES-JSME.
  63. SEL 1996. TRNSYS Version 14.2 e Engineering Equation Solver (EES). Solar Energy Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
  64. Soebarto, V. 1996. "Development of a Calibration Methodology for Hourly Building Energy Simulation Models Using Disaggregated Energy Use Data From Existing Buildings". Dissertação para Ph.D., Department of Architecture, Texas A&M University, agosto.
  65. Sparks, R., Haberl, J., Bhattacharyya, S., Rayaprolu, M., Wang, J. e Vadlamani, S. 1992. "Testing of Data Acquisition Systems for Use in Monitoring Building Energy Conservation Systems". Anais do Eighth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Dallas, Texas, p. 197-204, maio.
  66. Vine, E. e Sathaye, J. 1999. "Guidelines for the Monitoring, Evaluation, Reporting, Verification and Certification of Energy-Efficiency Projects for Climate-Change Mitigation", LBNL Report # 41543.
  67. Violette, D., Brakken, R., Schon, A. e Greef, J. 1993. "Statically-Adjusted Engineering Estimate: What Can The Evaluation Analyst Do About The Engineering Side Of The Analysis? Anais da Energy Program Evaluation Conference, 1993, Chicago, Illinois.
  68. Wiesman, S. (ed.) 1989. Measuring Humidity in Test Chambers, General Eastern Corporation, 50 Hunt Street, Watertown, Massachusetts.
  69. Wise, J.A. 1976. "Liquid-In-Glass Thermometry", N.B.S. Monograph 150, janeiro.
  70. Wise, J. A. e Soulen, R.J. 1986. "Thermometer Calibration: A Model for State Calibration Laboratories". N.B.S. Monograph 174, janeiro.

### 6.3 Fontes

As seguintes organizações fornecem informações úteis e importantes:

1. Air Conditioning and Refrigeration Center, Mechanical Engineering, University of Illinois. Tel: (217) 333-3115. <http://acrc.me.uiuc.edu>
2. American Council for na Energy Efficient Economy (ACEEE), Washington, D.C. Tel: (202) 429-8873. <http://www.aceee.org>
3. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Georgia. Tel: (404) 636-8400. <http://www.ashrae.org>
4. American Society of Mechanical Engineers (ASME), New Jersey. Tel: (800) 843-2763. <http://www.asme.org>
5. Association of Energy Engineers (AEE), Lilburn, GA. Tel: (404) 925-9558. <http://www.aeecenter.org>

6. Boiler Efficiency Institute, Department of Mechanical Engineering, Auburn University, Alabama. Tel: (334) 821-3095. <http://boilerinstitute.com>
7. Center for Energy and Environmental Studies (CEES), Princeton University, New Jersey. Tel: (609) 452-5445. <Http://www.princeton.edu/~cees>
8. Edison Electric Institute (EEI), Washington, D.C. Tel: (202) 508-5000. <http://www.eei.org/resources/pubcat>
9. Energy Systems Laboratory, College Station, Texas. Tel: (979) 845-9213. <http://www.esl.tamu.edu>
10. Florida Solar Energy Center, Cape Canaveral, Florida. Tel: (407) 638-1000. <http://www.fsec.ucf.edu>
11. IESNA Publications, New York, New York. Tel: (212) 248-5000. <http://www.iesna.org>
12. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Berkeley CA. Tel: (510) 486-6156. E-mail: [EETDinfo@lbl.gov](mailto:EETDinfo@lbl.gov), <http://eetd.lbl.gov>
13. National Association of Energy Service Companies (NAESCO), Washington, D.C. Tel: (202) 822-0950. <http://www.naesco.org>
14. Energy Information Administration (EIA), Department of Energy, Washington, D.C. Tel: (202) 586-8800. <http://www.eia.doe.gov>
15. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Boulder, Colorado. Tel: (303) 275-3000. <http://www.nrel.gov>
16. National Technical Information Service (NTIS), U.S. Department of Commerce (este é o repositório para todas as publicações dos laboratórios federais e empreiteiros), Springfield, Virginia. Tel: (703) 605-6000. <http://www.ntis.gov>
17. Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Oak Ridge, Tennessee. Tel: (865) 574-5206. <http://www.ornl.gov/ORNL/BTC>
18. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, Washington. Tel: (509) 372-4217. <http://www.pnl.gov/buildings/>.

## Apêndice A : Exemplos

### Opção A

#### Exemplo: Retrofit em iluminação

*Situação* : São instaladas luminárias mais eficientes em lugar das existentes em uma escola para reduzir o uso de energia, mantendo os níveis de iluminação.

#### Plano M&V

*Um Plano de M&V foi desenvolvido, mostrando que a Opção A deveria ser usada para determinação de economia porque considerava-se que a medição parcial forneceria precisão adequada. Um esboço do Plano é mostrado abaixo:*

- O limite desta ACE foi traçado para incluir os circuitos de iluminação montados no teto, alimentados pelo circuito em 277 volt e o sistema de aquecimento pela radiação.
- A diminuição associada na carga de ar condicionado foi considerada trivial, uma vez que uma pequena parte da escola tem ar condicionado, e a maior parte está fechada durante os meses de verão.
- As condições de ano base são as dos 12 meses que precedem imediatamente a decisão de prosseguir com o projeto. Elas incluíram uma pesquisa do nível de iluminação, local e número de reatores e de luminárias.
- Cálculos de engenharia determinaram que a ACE aumentaria a carga de aquecimento em 6% das economias de iluminação de novembro a março. Este número foi calculado para variar entre 4% e 8%.
- Estima-se que a eficiência do aquecedor no inverno seja de 79%, sob condições típicas de inverno. O uso de combustível no ano base das contas de gás de novembro a março é  $2,94 \times 10^9 \text{ ft}^3$  ( $83,25 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).
- Os períodos de iluminação no pós-retrofit são selecionados como o conjunto usual de condições para os termos de uso de energia na Equação 1 do Capítulo 3.
- Os períodos de iluminação do ano base foram estabelecidos através do registro de um mês de iluminação em áreas representativas. Registros de períodos de iluminação estabeleceram os seguintes dados de carga/duração para o ano base.

#### Carga do Ano Base/Duração

Fração de Carga de Iluminação	Em Horas Por Ano
9%	240
61%	1.450
15%	2.500
6%	6.100
9%	8.760

- Devido a uma mudança em padrões de ocupação, que entrarão em vigor aproximadamente no mesmo momento da aplicação da ACE, assume-se que o período de carga/duração, durante o período pós-retrofit será como mostrado abaixo:

#### Carga no pós-retrofit/Duração

Fração de Carga de Iluminação	Em Horas Por Ano
9%	240
61%	2.000
15%	2.500
6%	6.100
9%	8.760

- Foram feitas medidas de potência nas 3 fases, com um medidor RMS, recentemente calibrado, nos circuitos de iluminação de 277 volts. A taxa do fabricante neste medidor é de  $\pm 2\%$  da escala total e as leituras eram aproximadamente de 50% da escala total. A partir de uma medição de trinta segundos na entrada dos transformadores de iluminação, constatou-se que com todas as luminárias acesas, a potência total era de 28,8 KW, porém 7 lâmpadas (= 0,3 KW ou 1%) queimaram durante o teste. Ficou determinado que a fração queimada, durante esta medição, era normal.
- Assumiu-se que a demanda elétrica para iluminação era igual à carga de circuito medida durante os dez meses do ano em que a escola está funcionando. Esta estipulação pode conter um erro de, no máximo, 3% uma vez que a iluminação é a carga elétrica dominante no edifício. Baseado na redução da demanda entre julho e agosto, apresentada nas faturas de eletricidade, o uso mínimo da instalação durante estes meses, e o outro equipamento usado durante o verão, assumiu-se que a demanda de circuitos de iluminação em julho e agosto é de apenas 50% da potência medida.
- Os possíveis erros no perfil de carga/duração de iluminação pós retrofit estipulados acima são:
  - só a metade do crescimento antecipado de 1.450h para 2.000h pode acontecer, e
  - a fração de carga de 9% pode ser ligada durante 400 horas.
- Estes possíveis erros poderiam afetar o uso de energia pós-retrofit em até, aproximadamente 2.500 kWh que representam 8,2% dos esperados 30.000 kWh em economias anuais. O impacto das suposições sobre a iluminação no medidor de demanda elétrica durante todos os doze meses do ano base e ano pós-retrofit poderiam afetar as economias de demanda relatadas por até 3%. Nenhum destes impactos de estipulação são considerados significativos para o projeto.
- A precisão estimada das medidas de potência é  $\pm 4\%$ .
- O processo de cálculo de poupança mostrado abaixo foi resumido no plano M&V. Economias serão computadas anualmente durante o ano subsequente usando uma nova medição da carga elétrica de iluminação imediatamente depois da conclusão da ACE e em cada aniversário depois disso.
- As leituras de potência no ano base e todos os anos futuros serão feitas por um eletricitista contratado. Todos os dados e análises estão disponíveis para inspeção. De forma a verificar as leituras, o pessoal de manutenção das construções também medirá a carga elétrica nos mesmos momentos que o contratante. Se houver uma diferença de mais de 4% entre as leituras do pessoal e as do contratante, será feita uma segunda leitura do contratante e o valor apropriado será selecionado entre as duas leituras do contratante.
- Estima-se que este processo de determinação de economia requeira um eletricitista 5 horas a cada ano para fazer as leituras e calibrar o equipamento de medição. Espera-se que o custo total de cada ano seja de \$200, incluindo os relatórios.

#### *Uso/Demanda de Eletricidade no ano base*

O uso de energia no ano base para Equação 1 é computado multiplicando a carga de 28.8 do ano base pelos dados de carga do ano base/duração, acima. A computação é mostrada abaixo.

#### **Uso de Energia no Ano Base**

<b>Fração de Carga de Iluminação</b>	<b>kW</b>	<b>Em Horas Por Ano</b>	<b>kWh</b>
9%	2,6	240	622
61%	17,6	1.450	25.474
15%	4,3	2.500	10.800
6%	1,7	6.100	10.541
9%	2,6	8.760	22.703
<b>Total (100%)</b>	<b>28,8</b>		<b>70.140</b>

A demanda no ano base é de 28,8 kW para cada 10 meses e 14,4 kW para cada um dos meses de julho e agosto, trazendo a demanda total a 317 kW-mês.

#### *Uso/Demanda de Eletricidade Pós Retrofit.*

Após a execução da ACE, a potência do circuito de iluminação foi medida novamente como no ano base. A potência requerida foi de 16,2 kW com todas as luzes ligadas e nenhuma queimou.

Com a mesma taxa de queima de 1% como no ano base, a potência máxima do período pós-retrofit do ano base seria de 16,0 kW ( $=16.2 \times 0.99$ ). Então o uso anual de energia pós-retrofit para Equação 1 é computado multiplicando a carga pós-retrofit de 16,0 kW pelos dados de carga/duração estipulados pós-retrofit. A computação é mostrada abaixo.

### Uso de Energia Pós-Retrofit

Fração de Carga de Iluminação	kW	Em Horas Por Ano	kWh
9%	1,4	240	346
61%	9,8	2.000	19.520
15%	2,4	2.500	6.000
6%	1,0	6.100	5.860
9%	1,4	8.760	12.614
<b>Total (100%)</b>	<b>16,0</b>		<b>44.340</b>

A demanda de pós-retrofit é de 16,0 kW para cada de 10 meses e 8,0 kW para cada um dos meses de julho e agosto, trazendo a demanda total a 176 kW-mês.

### Uso de Combustível Pós-Retrofit

Os aumentos de combustível resultantes de ACE em iluminação são consequência da economia de energia elétrica. As economias elétricas não-ajustadas são de  $70.140 - 44.340 = 25.800$  kWh por ano. Assumindo que estas economias são alcançadas uniformemente durante um período de 10 meses, a economia de eletricidade em um mês de inverno típico é de  $25.800/10 = 2.580$  kWh/mês. O aumento de carga de caldeira associado é 6% desta economia de eletricidade de novembro a março, isto é,:

$$= 6\% \times 2.580 \text{ kWh/mo} \times 5 \text{ meses} = 774 \text{ kWh equivalente}$$

Entrada adicional de energia da caldeira:

$$= 774 \text{ kWh} \div 79\% = 980 \text{ kWh unidades equivalentes de combustível}$$

$$= 3.344.000 \text{ BTU ou } 3 \text{ milhões de ft}^3 \text{ (84.950 m}^3\text{) de gás natural}$$

Então o uso de combustível total pós-retrofit é calculado para ser  $2.940 + 3 = 2.943$  milhões  $\text{ft}^3$  (83,34 milhões de  $\text{m}^3$ ).

### Ajustes de rotina

São necessários ajustes de rotina para trazer o uso de energia do ano base às condições do período pós-retrofit estipulado.

Aplicando a carga elétrica do ano base de 28,8 kW aos dados de carga/duração, estipulados pós-retrofit, o ajuste de rotina durante as horas operacionais mais longas é derivado, como mostrado abaixo:

### Uso de Energia no Ano Base nas Condições Estipuladas para o Pós-Retrofit

Fração da carga de iluminação	kW	horas anuais	kWh	Nas condições do ano base (kWh)	Ajustamento (kWh)
9%	2,6	240	622	622	
61%	17,6	2.000	35.144	25.474	
15%	4,3	2.500	10.800	10.800	
6%	1,7	6.100	10.541	10.541	
9%	2,6	8.760	22.703	22.703	
<b>total</b>	<b>28,8</b>		<b>79.810</b>	<b>70.140</b>	<b>9.670</b>

Nenhum ajuste é necessário na demanda uma vez que aumento nas horas de operação acontece durante as sessões escolares, portanto não aumentando a demanda.

Embora ajustes sejam apropriados para uso de combustível associado, eles seriam triviais e, sendo assim, são ignorados.

### Economias

Da Equação 1, as economias de energia durante o primeiro ano depois de execução de ACE serão:

	Ano base	-	pós-retrofit	+	ajustamento	=	economias
Consumo e.e.	70.140	-	44.340	+	9.670	=	35.470kWh
Demanda e.e.	317	-	176	+	0	=	141kWh-mês
Gás	2.940	-	2.943	+	0	=	-3x10 <sup>6</sup> ft <sup>3</sup>
	(83,25)		(83,34)				(84.950m <sup>3</sup> )

Serão computadas identicamente as economias anuais subsequentes: da carga medida a cada ano no mesmo painel elétrico.

Note que neste exemplo as economias informadas são para operações sob condições do período pós-retrofit. Portanto as economias podem ser chamadas de "uso evitado de energia"

## Opção B

### Exemplo: Substituição de Caldeira

*Situação* : Uma caldeira de edifício comercial é substituída por outra caldeira mais eficiente. 95% da potência da caldeira são para aquecimento do prédio enquanto 5% são para aquecimento doméstico de água.

Não há nenhuma mudança além de uma melhoria na eficiência da caldeira. Nenhum outro equipamento no edifício usa gás.

#### Plano de M&V

Um Plano de M&V foi desenvolvido mostrando que a Opção B era para ser usada para determinação de economia porque o retrofit de caldeira para redução de energia era só parte de muitas mudanças planejadas no edifício, não relacionadas à energia. Um esboço do Plano é mostrado abaixo:

- O limite desta ACE foi projetado para incluir só os sistemas de combustível da caldeira. Este limite exclui a eletricidade auxiliar associada ao queimador e ao ventilador da caldeira. Embora menos gás possa ser usado pela caldeira, os usos de potência dos ventiladores velho e novo devem ser bem parecidos e seus períodos operacionais serão os mesmos. Então não se espera que os equipamentos auxiliares mudem significativamente seu uso de eletricidade, podendo ser excluídos do limite de medida.
- As condições de ano base foram escolhidas para ser o padrão de carga de períodos típicos de inverno, antes de execução da ACE.
- As condições do ano base eram escolhidas como o conjunto comum de condições para o uso de energia na Equação 1, uma vez que foi esperado que haveria mudanças significativas nas cargas de aquecimento do edifício dentro do período pós-retrofit. É reconhecido que as economias informadas serão então para condições de ano base e não condições pós-retrofit
- O uso de energia de ano base era  $35,2 \times 10^9 \text{ft}^3$  ( $1 \times 10^9 \text{m}^3$ ) de gás.
- Antes do retrofit, a eficiência da caldeira foi testada em três períodos separados de uma semana, quando a média da temperatura ambiente variava de 20°F (-6,7°C) para 24°F (-4,4°C) e a ocupação do edifício era normal. Um medidor de fluxo de energia recentemente calibrado foi instalado na caldeira, medindo alimentação e retorno de temperatura de linha, e taxa de fluxo da água de alimentação. Este sistema de medidores, com sua captura e processamento de dados tem a precisão avaliada de um fabricante de  $\pm 7\%$  para a variação de BTU envolvida neste projeto. O medidor de gás da concessionária foi usado para medir uso de gás e foi levado como a fonte de referência, i.e. não tem nenhum erro. A leitura média de eficiência para os três intervalos semanais era de 66%, 64%, 65%. Uma eficiência média global de 65% foi estabelecida. A temperatura ao ar livre era medida por um sensor calibrado duas vezes por ano e registrado pelo sistema de controle do edifício.

- Assume-se que a porcentagem de mudança em eficiência medida sob condições típicas de inverno prevalecerão em todas as outras condições. O erro nesta suposição provavelmente não excederá 5%.
- processo de cálculo de economia mostrado abaixo foi resumido no Plano M&V.
- As economias deverão ser computadas anualmente para o ano subsequente, usando dados de eficiência da caldeira medidos a cada ano. Dados do medidor de fluxo de energia serão armazenados para exame por um terceiro, se preciso.
- O custo de instalação e comissionamento do medidor do fluxo de energia foi de \$7.900. O custo da leitura anual de eficiência, calibragem de medidor e relatório é de \$4.000.
- Leituras de fluxo de gás e energia serão feitas diariamente pelo pessoal de manutenção do edifício ao longo dos meses de inverno até que três semanas válidas tenham sido obtidas. Esses dados serão catalogados na sala da caldeira e abertos para inspeção a qualquer hora. Dados de temperatura ambiente serão registrados pelo sistema de automação do edifício e catálogos impressos pelas semanas válidas selecionadas.
- A calibragem do medidor de fluxo de energia será feita anualmente pelo contratante xyz imediatamente antes do início do período de testes. Leituras diretas do medidor de gás serão corrigidas para pressão e temperatura pelos fatores da companhia concessionária, pelo período correspondente. Estes fatores serão fornecidos por escrito pela concessionária.

#### *Uso de Energia do Ano Base*

O uso anual de energia do ano base para a Equação 1 é  $35,2 \times 10^9 \text{ft}^3$  ( $1 \times 10^9 \text{m}^3$ ).

#### *Uso de Energia Pós-retrofit*

Após a execução e comissionamento da ACE, três períodos de testes semanais separados foram encontrados com uma temperatura ambiente média entre 20°F (- 6,7°C) e 24°F (- 4,4°C) e ocupação normal. Os resultados de eficiência sobre os três períodos de uma semana foram de 81%, 79% e 80%, chegando à média de 80%.

O uso anual de energia pós-retrofit para a Equação 1 é determinado pelo ano base para ser:

$$\begin{aligned} & \text{Condição do Ano base} + \text{Correção para a condição Pós-retrofit} \\ & = \frac{35200 \times 0.65}{0.80} + C \\ & = 26,41 \times 10^9 + C \text{ ft}^3 \text{ (} 0,75 \times 10^9 + C \text{ m}^3 \text{)} \end{aligned}$$

C é uma quantidade desconhecida necessária para converter o uso projetado da nova caldeira no ano base para condições pós retrofit

#### *Ajustes de Rotina*

Ajustes de rotina são necessários para trazer o uso de energia pós retrofit para as condições do ano base. Esta é exatamente a quantidade de correção C milhões  $\text{ft}^3$  ( $\text{m}^3$ ).

#### *Economia*

Da Equação 1, a economia de energia será:

	<i>Ano base</i>	-	<i>Pós-Retrofit</i>	+	<i>Ajuste</i>	=	<i>Economia</i>
<b>Gás</b>	35.200	-	(26.410+C)	+	C	=	8.790 milhões $\text{ft}^3$ (248,9 milhões $\text{m}^3$ )

Note que neste exemplo a economia relatada é para operações sob condições de ano base.

## Opção C

### Exemplo:

#### Projeto de múltiplas ACE's em todo o Edifício

*Situação* : Um projeto de eficiência de energia foi implementado em uma escola de segundo grau, envolvendo seis ACE's na iluminação, CAVA<sup>8</sup>, aquecimento de piscina, treinamento de operador e campanhas de conscientização dos usuários. Os objetivos do projeto eram a redução dos custos da energia.

#### *Plano M&V*

Um Plano M&V foi desenvolvido mostrando que a Opção C era para ser usada para determinação de economia porque o foco era custo total de energia do estabelecimento. Um esboço do Plano é apresentado abaixo:

- O limite desta determinação de economia foi definido como:
  - A principal conta de eletricidade #766A234-593 incluindo a demanda
  - A conta de eletricidade auxiliar #766B122-601 servindo a casa da área
  - A conta de gás natural #KHJR3333-597
- As condições de ano base são aquelas dos 12 meses que precedem imediatamente a decisão de prosseguir com o projeto. Incluso na documentação destas condições está:
- Uma pesquisa do nível de iluminação, com uma contagem do número de lâmpadas queimadas em janeiro e junho.;
  - um resumo das temperaturas típicas e umidade do ambiente, durante períodos de ocupação e não ocupação em cada uma das quatro estações;
  - uma contagem do número e tamanho de todos os computadores, monitores e impressoras, juntamente com uma estimativa dos horários de operação de cada um;
  - *um registro do número de alunos de cursos diários e noturnos em cada mês do ano;*
  - registro do número de horas de aluguel do ginásio, lanchonete e piscina a cada mês;
  - contagem do número de unidades instaladas de ar condicionado de janela;
  - Nível de temperatura da água de piscina e água quente que serve os chuveiros das piscinas, dos ginásios e do resto da escola;
  - Volume de abastecimento de água para a piscina cada mês, como registrado por um medidor substituto separado não calibrado;
  - temperatura da água quente na cozinha da lanchonete e o número e classificação de todo o equipamento de cozinha; e
  - horário de funcionamento da cozinha da lanchonete e o valor de vendas de comida a cada mês.
- O uso de energia do ano base é mostrado nas contas de serviço anteriores que atravessam o período 1998 de janeiro a 1998 de dezembro.
- Os dados de energia de ano base foram analisados como segue. Uma regressão múltipla linear foi executada para uso e demanda de energia mensal, medindo o comprimento de período, e graus-dia (“GD”). Dados de graus-dias foram derivados de temperatura de bulbo seco diariamente, publicada mensalmente pelo serviço de meteorologia do governo para a cidade onde a escola fica situada. Nenhuma correlação significativa com o tempo foi achada para demanda elétrica, uso de eletricidade de verão na casa da área ou uso de gás no verão. As análises foram consideradas razoáveis.

Há correlação entre as condições do tempo e o uso de gás no inverno e o consumo no inverno do principal medidor de eletricidade. Portanto nenhuma outra variável independente foi buscada. A energia por GD e a energia por dados diários mostrada abaixo descrevem as características da relação direta encontrada pela análise de regressão:

---

<sup>8</sup> CAVA: simplificação para “condicionamento de ar, ventilação e aquecimento”.

	<i>Consumo de gás</i>	<i>demanda e.e.</i>	<i>consumo e.e.</i>	<i>consumo e.e.</i>
<b>Num. medidor</b>	KHJR3333-597	766A234-593	766A234-593766	766B122-601
<b>Unidade</b>	10 <sup>9</sup> ft <sup>3</sup> (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	kW-mês	kWh	kWh
<b>Total anual</b>	10,24 (0,29)	5.782	1.243.000	62.000
<b>GD base (1)</b>	15°C		16°C	20°C
<b>Energia/GD (1)</b>	2,55		39,61	18,12
<b>Energia/dia (1)</b>	9,16		2.640	20,1
<b>CV (RMSE) (1)</b>	9%		18%	5%

*Nota:* (1) São referentes à análise de regressão no inverno.

- A economia será determinada nas condições pós-retrofit.
- O processo do cálculo de economia mostrado abaixo foi resumido no Plano M&V
- A escola forneceu autorização ao contratante xyz para receber dados de uso de energia de companhias de gás e eletricidade até 2008.
- Economias devem ser computadas e relatadas mensalmente pelo contratante xyz em um formato que o pessoal da fábrica possa entender e trimestralmente para que professores estudantes possam compreender. Este relatório deve começar imediatamente após a conclusão da ACE. Ele continuará nestas taxas por oito anos.
- Anualmente a escola vai relatar qualquer mudança nas condições do ano base listada acima, dentro de um mês após o final de cada ano letivo. O contratante xyz computará o impacto de energia nestas mudanças e quaisquer outras que ele considere relevantes e apresentará ajustes não rotineiros de ano base, dois meses antes do fim do ano fiscal da direção da escola.
- Este processo de determinação de economia deve requerer um analista de entrada de dados e contas de serviço público dez horas por ano e um engenheiro por cinco horas para checar a precisão dos relatórios e determinar computações compatíveis com ajustes básicos não rotineiros. O custo total a cada ano deve ser de \$1.000, incluindo o relatório.

•  
O CV (RMSE) dos modelos de ano base variam de 5% a 18% e são muito menores que a economia prevista de 35% tanto para combustível quanto para eletricidade. Não existe erro de amostra ou instrumentação. Portanto a economia relatada será estatisticamente significativa, sujeita a qualquer erro introduzido através de ajustes básicos não rotineiros que possam surgir

#### *Uso de Energia do Ano Base*

O uso de energia de ano base para Equação 1 é tirado diretamente das contas da concessionária sem ajuste. Os dados foram tabulados no Plano M&V

#### *Uso de Energia Pós-retrofit*

O uso de energia pós-retrofit para Equação 1 é tirado diretamente das contas da concessionária sem ajuste.

#### *Ajustes de Rotina*

Ajustes de rotina são necessários para trazer o uso de energia do ano base para condições do período pós-retrofit. Para o primeiro ano após retrofit os ajustes de rotina são computados como segue:

Gas:

	<i>Uso de energia no ano base</i>	<i>período</i>	<i>Condições pós-retrofit</i>	<i>período</i>	<i>Uso de energia para o ano base</i>	<i>energia para o ano base</i>	<i>no ano base</i>	<i>o ano base</i>	
	Consumo	dias	dias	GD	inverno base	Aquecimento no inverno	verão	total	Ajustamento
<b>Jan</b>	2.239,1	29	31	742	284,0	1.892,1		2.176,1	-63,0
<b>Fev</b>	1.676,3	31	30	551	274,8	1.405,1		1.679,9	3,5
<b>Mar</b>	1.223,1	31	32	401	293,1	1.022,6		1.315,7	92,6
<b>Abr</b>	7.23,3	30	28	208	256,5	5.30,4		786,9	63,6
<b>Mai</b>	399,6	30	30	41	274,8	104,6		379,6	-20,3
<b>Jun</b>	240,1	28	30	12			257,3	257,3	17,2
<b>Jul</b>	201,2	31	32	0			207,7	207,7	6,5
<b>Ago</b>	193,6	30	30	2			193,6	193,6	0
<b>Set</b>	288,7	30	30	20			288,7	288,7	0
<b>Out</b>	439,1	30	31	99	284,0	252,5		536,4	97,3
<b>Nov</b>	1.023,6	31	30	302	274,8	770,1		1.044,9	21,3
<b>Dez</b>	1.591,1	33	33	521	302,3	1.328,6		1.630,8	39,7
<b>Total</b>	<b>10.238,8</b>	<b>364</b>	<b>367</b>					<b>10.497,2</b>	<b>258,4</b>

- fatos dos dados de energia do ano base
- fatos dos dados de energia do ano base
- fatos dos períodos de medição do pós-retrofit
- fatos dos períodos de medição do pós-retrofit
- (c) x 9,16 para meses onde  $GD > 25$
- (d) x 2,55 para meses onde  $GD > 25$
- (a/b) x (c) para meses onde  $GD = 25$  ou menos
- (e) + (f) + (g)
- (h) - (a)

#### Consumo de Eletricidade:

Cálculos para cada um dos dois medidores de consumo de energia são feitos separadamente na mesma forma em que o medidor de gás acima, usando dados relevantes do ano base, fatores de regressão, períodos de medição e graus-dias. A rede de ajustes de rotina para cada mês é mostrada na seção de Economia abaixo.

#### Demanda de Eletricidade:

Nenhum ajuste de rotina é feito, já que nenhuma correlação foi encontrada com o tempo.

#### Ajustes Não Rotineiros

Durante o primeiro período pós-retrofit, equipamento extra de computação foi adicionado, substituindo parcialmente computadores velhos. As estimativas mensais seguintes de energia e demanda foram feitas por informações de placa, carregamento típico e horas operacionais pelos dez meses em que a escola está em atividade:

	computador	monitor	impressora	total
<b>número adicionado líquido</b>	23	23	5	
<b>watts de placa</b>	150	120	175	
<b>watts médios</b>	70	110	50	
<b>horas de uso mensal</b>	150	150	120	
<b>kWh/mês</b>	242	380	30	652
<b>fator de diversidade</b>	90%	90%	70%	
<b>kW de demanda</b>	1,45	2,28	0,23	3,06

Embora possa haver um erro de 50% nestas estimativas, o impacto é pequeno em relação à economia relatada.

### Economia

Da Equação 1, a economia de energia para o primeiro ano após a execução da ACE será, para cada conta:

1 Conta de Gás #KHJR3333-597 milhões ft<sup>3</sup> ou milhões m<sup>3</sup>

	<i>Uso de energia no ano base</i>	-	<i>pós-retrofit</i>	+	<i>ajustamento</i>	=	<i>economias</i>
Jan	2.239,1	-	1.839,1	+	-63,0	=	337,0 (9,54)
Fev	1.676,3	-	1.233,6	+	3,5	=	446,0 (12,64)
Mar	1.233,1	-	932,1	+	92,6	=	383,6 (10,86)
Abr	723,3	-	621,1	+	63,6	=	165,8 (4,69)
Mai	399,6	-	301,0	+	-20,3	=	78,4 (2,22)
Jun	240,1	-	160,2	+	17,2	=	97,1 (2,75)
Jul	201,2	-	120,1	+	6,5	=	87,6 (2,48)
Ago	193,6	-	150,9	+	0,0	=	42,7 (1,21)
Set	288,7	-	202,3	+	0,0	=	86,4 (2,45)
Out	439,1	-	339,1	+	97,3	=	197,3 (5,59)
Nov	1.023,6	-	678,4	+	21,3	=	366,5 (10,38)
Dez	1.591,1	-	1.123,2	+	39,7	=	507,6 (14,27)
<b>total</b>	<b>10.238,8</b>	-	<b>7.701,1</b>	+	<b>258,4</b>	=	<b>2.796,1 (79,16)</b>

2 Conta de Eletricidade #766A234-593 Consumo (kWh)

	<i>Uso de energia no ano base</i>	-	<i>pós-retrofit</i>	+	<i>Ajustamento rotineiro</i>	+	<i>Ajustamento não rotineiro</i>	=	<i>economias</i>
Jan	122.400	-	81.200	+	3.740	+	652	=	45.592
Fev	118.600	-	76.200	+	2.780	+	652	=	45.832
Mar	132.200	-	83.200	+	-1.220	+	652	=	48.432
Abr	110.800	-	77.600	+	1.890	+	652	=	35.742
Mai	106.000	-	65.400	+	2.120	+	652	=	43.372
Jun	101.200	-	61.200	+	120	+	652	=	40.772
Jul	30.200	-	20.800	+	-3.600	+	0	=	5.800
Ago	36.200	-	23.800	+	2.480	+	0	=	14.880
Set	105.200	-	66.800	+	2.260	+	652	=	41.312
Out	110.200	-	70.600	+	200	+	652	=	40.452
Nov	126.600	-	83.200	+	5,320	+	652	=	49.372
Dez	128.400	-	81.000	+	-2.240	+	652	=	45.812
<b>total</b>	<b>1.228.000</b>	-	<b>791.000</b>	+	<b>13.850</b>	+	<b>6.520</b>	=	<b>457.370</b>

3 Conta de Eletricidade #766A234-593 Demanda (kW)

	<i>Uso de energia no ano base</i>	-	<i>pós-retrofit</i>	+	<i>Ajustamento rotineiro</i>	+	<i>Ajustamento não rotineiro</i>	=	<i>Economias</i>
Jan	561	-	402	+	0	+	4	=	163
Fev	521	-	381	+	0	+	4	=	144
Mar	502	-	352	+	0	+	4	=	154
Abr	490	-	328	+	0	+	4	=	166
Mai	472	-	330	+	0	+	4	=	146
Jun	470	-	336	+	0	+	4	=	138
Jul	300	-	222	+	0	+	0	=	78
Ago	470	-	324	+	0	+	0	=	146
Set	476	-	336	+	0	+	4	=	144
Out	480	-	350	+	0	+	4	=	134
Nov	500	-	362	+	0	+	4	=	142
Dez	540	-	390	+	0	+	4	=	154
<b>total</b>	<b>5.782</b>	-	<b>4.113</b>	+	<b>0</b>	+	<b>40</b>	=	<b>1.709</b>

4 Conta de Eletricidade #766B122-601 Consumo (kWh)

	<i>Uso de energia no ano base</i>	-	<i>pós-retrofit</i>	+	<i>ajustamento</i>	=	<i>economias</i>
<b>Jan</b>	12.200	-	10.200	+	-1.200		800
<b>Fev</b>	9.600	-	11.200	+	2.320		720
<b>Mar</b>	8.800	-	7.800	+	-200	=	800
<b>Abr</b>	4.400	-	4.800	+	1.280	=	880
<b>Mai</b>	3.800	-	5.100	+	2.120	=	820
<b>Jun</b>	1.200	-	500	+	120	=	820
<b>Jul</b>	800	-	400	+	23	=	423
<b>Ago</b>	600	-	300	+	-48	=	252
<b>Set</b>	1.200	-	400	+	41	=	841
<b>Out</b>	4.400	-	3.800	+	140	=	740
<b>Nov</b>	6.600	-	5.400	+	-290	=	910
<b>Dez</b>	8.400	-	9.000	+	1.400	=	800
<b>total</b>	<b>62.000</b>	-	<b>58.900</b>	+	<b>5.706</b>	=	<b>8.806</b>

Note que neste exemplo a economia relatada é para operações sob condições de período pós-retrofit. Portanto, a economia pode ser chamada: "uso evitado de energia."

## Opção D

### Exemplo:

#### Projeto de múltiplas ACE's com Simulação Calibrada

*Situação* : Um projeto de eficiência de energia foi implementado no prédio da biblioteca de uma universidade, envolvendo quatro ACE's na iluminação, CAVA<sup>9</sup>, aquecimento de piscina, treinamento de operador e campanhas de conscientização dos usuários. O edifício é parte de um campus de múltiplos edifícios sem medidores individuais de edifício. Como parte do programa de gerenciamento de energia, medidores de vapor e de consumo e de demanda de eletricidade foram instalados nas principais linhas de fornecimento para a biblioteca. Os objetivos deste projeto eram reduzir os custos de energia na biblioteca.

#### Plano M&V

Um Plano M&V foi desenvolvido mostrando que a Opção D era para ser usada para determinação de economia porque os dados de ano base não existiam para a biblioteca por si só. Um esboço do plano é apresentado abaixo:

- O limite deste projeto foi definido como o uso total de energia da biblioteca, uma vez que afeta a energia do campus principal e a compra de demanda, admitindo que:
  - uma libra de vapor na biblioteca requer 1,5ft<sup>3</sup> (0,04m<sup>3</sup>) de gás no medidor de gás do sistema de aquecimento do campus,
  - um kWh de eletricidade na biblioteca requer 1,03 kWh de eletricidade no medidor de eletricidade do campus, e
  - um kW de demanda na biblioteca coincide com 1,03 kW de demanda elétrica no medidor de demanda elétrica do campus.
- As condições de ano base são aquelas dos 12 meses que precedem imediatamente a decisão de prosseguir com o projeto, 1999. Níveis de luz foram pesquisados durante este período e registrados. No entanto, assume-se que o uso e ocupação da biblioteca são os mesmos no ano base e nos períodos pós-retrofit
- Nenhum dado de energia do ano base existe então será simulado usando o software DOE-2, versão 2.1 calibrado contra os dados do medidor atual do primeiro ano de operações pós-retrofit.

<sup>9</sup> CAVA: simplificação para "condicionamento de ar, ventilação e aquecimento".

- O conjunto único de condições selecionadas para uso nos termos de uso de energia na Equação 1 consiste no uso e na ocupação da biblioteca no primeiro ano do período pós-retrofit, e nas condições climáticas de um ano normal para a cidade, como publicado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável, em 1989.
- Registros foram feitos das seguintes cargas e condições de operação durante o período pós-retrofit:
  - dados do controle de acesso, dados de ocupação produtiva por hora para cada hora do ano, chegando a um pico médio de ocupação diária de 300 pessoas;
  - horários de funcionamento da biblioteca: 8:00 à meia-noite, sete dias por semana, exceto em feriados oficiais quando está fechada;
  - medições pelo pessoal de operação da temperatura e umidade ambientes em vinte e cinco pontos na metade da manhã e metade da tarde no primeiro dia de cada um dos 12 meses; e
  - retirada contínua de força dos circuitos de 120 volt que abastecem o equipamento da biblioteca, por cinco dias típicos e um feriado oficial. Um total de 801kWh/dia ocupado foi registrado e um perfil por hora foi desenvolvido para dias com e sem ocupação.
- O arquivo de entrada de dados incluindo suposições e os dados de medição acima foram impressos e guardados eletronicamente para uso de qualquer outra pessoa.
- A empresa de consultoria em engenharia ABC designou J. Smith como o engenheiro profissional que conduzirá a simulação e calibragem por causa de sua experiência neste campo.
- O processo de cálculo da economia pretendida apresentado abaixo foi resumido no Plano M&V.
- A economia deve ser computada após o término do primeiro ano pós-retrofit. Para garantir que a economia permanecerá no lugar, o pessoal de operações do edifício irá regularmente relatar o status dos parâmetros operacionais chaves que foram usados no modelo de simulação de calibragem. Se as condições de operação mudam, a economia não será ajustada, uma vez que ela é computada em um conjunto fixo de condições.
  - A economia deve ser determinada usando os seguintes preços marginais derivados dos respectivos contratos de fornecimento de energia
    - consumo de eletricidade = \$0,0791/kWh
    - demanda elétrica = \$9,93/kW-mês
    - vapor = \$14,23/10<sup>3</sup> lbs (\$31,34/10<sup>3</sup> kg)
- Espera-se que este processo de determinação de economia requeira a consulta a um engenheiro profissional por um mês para programar e calibrar um modelo de simulação apropriado, com um custo em torno de \$20.000. Uma revisão do trabalho do consultor DEF está nos planos e pode custar \$8.000 adicionais.

### *Uso de Energia no Ano Base*

Os seguintes passos foram seguidos para computar o uso de energia no ano base após o primeiro ano pós-retrofit:

1. Os novos medidores instalados foram calibrados antes da instalação. O pessoal de operações leu o medidor mensalmente e registrou mensalmente o uso total de vapor e eletricidade, assim como a demanda mensal, para cada um dos 12 meses ao longo do ano pós-retrofit.
2. Um modelo do edifício foi desenvolvido com as ACE's executadas. Este modelo usou condição de tempo real do período pós-retrofit e os perfis operacionais registrados no mesmo período. As temperaturas e as umidades internas no espaço modelado foram examinadas para garantir que representavam razoavelmente a variação típica de condições internas durante dias com e sem ocupação. Inicialmente, o modelo não modelou bem o uso de energia, então outras investigações do local foram realizadas. Durante estas investigações, descobriu-se que, durante períodos noturnos não ocupados, não havia variação efetiva de temperatura interior, então as características de massa térmica do modelo foram ajustadas. Com esta correção, o modelo foi levado a combinar adequadamente os dados de calibragem. Os resultados modelados foram comparados com os dados mensais como segue:

	MBE	CV (RMSE)
Consumo de Eletricidade	8%	10%
Demanda Elétrica	12%	15%
Vapor	5%	8%

- Esta precisão de calibragem é boa o bastante para permitir confiança razoável nos resultados relativos em dois testes do modelo. No entanto, o modelo não deve ser usado para comparar resultados simulados para dados reais.
- O modelo calibrado foi arquivado, com cópias impressas e eletrônicas dos dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.
- O modelo calibrado foi então ajustado para remover as ACEs, e o arquivo de dados de condição de tempo foi alterado para corresponder à verdadeira condição de clima do ano base, 1999. As temperaturas e umidades internas modeladas foram também examinadas para garantir que combinavam razoavelmente com a variação típica das condições internas durante dias com e sem ocupação. Este modelo de ano base foi arquivado, com cópias impressas e eletrônicas dos dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída. O consumo de energia deste modelo foi:

*Dados de Energia do Ano base*

Uso de Eletricidade	=	2.971.000 kWh
Demanda Elétrica	=	6.132 kW-mês
Vapor	=	10,67 x 10 <sup>6</sup> lbs (4,84 x 10 <sup>6</sup> kg)

*Uso de Energia Pós-retrofit*

O modelo calibrado apresentou o seguinte uso de energia com as ACEs executadas:

*Dados de Energia de Pós Retrofit*

Uso de Eletricidade	=	1.711.000 kWh
Demanda Elétrica	=	5.050 kW-mês
Vapor	=	6,26 x 10 <sup>6</sup> lbs (2,84 x 10 <sup>6</sup> kg)

*Ajustes de Rotina*

Ajustes de rotina são necessários para trazer os usos de energia no ano base e no pós-retrofit para o conjunto de condições padrão acertado: operações pós-retrofit e condições de clima do ano “normal”. Os seguintes passos foram seguidos:

- O modelo calibrado foi aplicado novamente com os dados “normais” de condição de clima. As temperaturas e as umidades internas modeladas foram examinadas novamente para garantir que combinavam razoavelmente com a variação típica de condições interiores durante períodos com e sem ocupação.
- Este modelo calibrado com condições normais de clima foi arquivado, com cópias impressas e eletrônicas dos dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.
- A diferença entre as duas versões do modelo calibrado foi computada como termo de ajuste, e é apresentada abaixo:
- O modelo de ano base foi aplicado novamente com os dados das condições de clima normal. As temperaturas e as umidades internas modeladas foram examinadas novamente para garantir que combinavam razoavelmente com a variação típica de condições interiores durante períodos com e sem ocupação.
- Este modelo de ano base, com condições normais de tempo foi arquivado, com cópias impressas e eletrônicas dos dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.
- A diferença entre as duas versões do modelo de ano base foi computada como o termo de Ajuste, e é mostrada abaixo:

	<b>Ano base Ajuste de Modelo</b>	<b>Ajuste de Modelo Calibrado Pós-Retrofit</b>	<b>Ajuste Total</b>
Consumo de Eletricidade (kWh)	122.000	50.000	172.000
Demanda Elétrica(kW-mês)	200	100	300
Vapor (10 <sup>3</sup> lb.) ou (10 <sup>3</sup> kg)	-521 (-236.3)	1.096 (497.1)	575 (260,8)

*Economias*

Pela Equação 1, a economia de energia no grupo padrão de condições é:

	<b>Ano Base</b>	–	<b>Pós-Retrofit</b>	+	<b>Ajuste</b>	=	<b>Economia</b>
Eletricidade	2.971.000	–	1.711.000	+	172,000	=	1.432.000kWh
Demanda Elétrica	6.132	–	5.050	+	300	=	1.382 kW-mês
Vapor (10 <sup>3</sup> lbs. ou 10 <sup>3</sup> kg)	10.673 (4.841)	–	6.261 (2.840)	+	575 (261)	=	44987 (2.262)

Os valores desta economia de energia/demanda são computados pelos preços marginais como:

Consumo de eletricidade	=	\$113.300
Demanda elétrica	=	\$13.700
Vapor	=	\$70.970
Total	=	\$197.970

## Apêndice B : Incerteza

Introdução
Erro de Instrumentação
Erro de Modelagem
Erro de Amostragem
Combinando Componentes de Incerteza
Estabelecendo um Nível de Incerteza Quantificada

**Nota:** O uso de técnicas de estatística tais como amostragem na determinação da economia de energia é relativamente simples se comparado à ciência exata de estatística. No entanto, métodos estatísticos relativamente simples são úteis na explicação de resultados de um programa de economia de energia e na garantia de confiabilidade e financiamento. O PIMVP usa a linguagem da estatística, tais como níveis de confiabilidade, e amostragem, em uma forma que reflete as melhores práticas industriais e não como prescrito em livros de estatística. Estes métodos podem não ser estatisticamente rigorosos, mas fornecem confiabilidade suficiente para completar e financiar projetos.

### Introdução

**Erro de Instrumentação** – A magnitude dos erros de instrumentação é dada pelas especificações dos fabricantes. Normalmente erros de instrumentação são pequenos e não são a maior fonte de erros na estimativa de economia.

**Erro de Modelagem** – Erro de modelagem se refere a erros nos modelos usados para estimar parâmetros de interesse da coleção de dados. As tendências nestes modelos surgem da má especificação do modelo. Erros por má especificação incluem:

- omitir termos importantes do modelo.
- atribuir valores incorretos para fatores “conhecidos”.
- extrapolar os resultados do modelo fora de sua faixa de validade.

Erros não sistemáticos são os efeitos aleatórios de fatores não considerados pelas variáveis do modelo.

Os modelos mais comuns são regressões lineares da forma

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + e \quad \text{Eq. 2}$$

onde:

$y$ and $x_k$ , $k = 1, 2, 3, \dots, p$	são as variáveis observadas
$b_k$ , $k = 0, 1, 2, \dots, p$	são coeficientes estimados pela regressão
$e$	é o erro residual não considerado pela equação de regressão

Modelos deste tipo podem ser usados em duas formas:

1. Para estimar o valor de  $y$  para um dado grupo de valores  $x$ . Um exemplo importante desta aplicação é o uso de um modelo estimado a partir de dados de um ano específico ou de parte do ano específico, para estimar o consumo em um ano normal.
2. Para estimar um ou mais dos coeficientes individuais  $b_k$ .

No primeiro caso, onde o modelo é usado para prever o valor de  $y$ , conhecidos os valores dos  $x_k$ 's, a precisão da estimativa é medida pelo Erro Médio Quadrático (EMQ) da distribuição prevista. Esta medida de precisão é fornecida pela maioria dos pacotes padrão de regressão. O quadrado do EMQ é igual à média dos quadrados dos resíduos:

$$\frac{(\sum (y_x - \hat{y}_x)^2)}{n} \quad \text{Eq. 3}$$

onde  $y'$  é a média e cada  $y - y'$  é um resíduo.

No segundo caso, onde o modelo é usado para estimar um determinado coeficiente  $b_k$ , a precisão da estimativa é medida pelo padrão de erro da eficiência estimada. Este erro padrão é também fornecido por pacotes padrões de regressão. A variancia do valor estimado  $b_e$

$$(b - b_e)^2 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde  $b$  é o valor verdadeiro do coeficiente, e  $b_e$  é o valor estimado pela regressão. O erro padrão é a raiz quadrada da variação.

Se a quantidade de juro é o valor previsto de  $y$  ou um coeficiente específico  $b_k$ , as medidas de precisão fornecidas pelas fórmulas estatísticas padrão são caracterizações válidas da incerteza da estimativa somente se não forem barreiras importantes no modelo de regressão.

Três índices estatísticos que podem ser usados para avaliar os modelos de regressão são definidos abaixo (SAS 1990):

1. O Coeficiente de Determinação,  $R^2$  (%):

$$R^2 = \left\{ 1 - \frac{\sum (y_{\text{pred},i} - y_{\text{data},i})^2}{\sum (y'_{\text{data}} - y_{\text{data},i})^2} \right\} \times 100 \quad \text{Eq. 5}$$

2. O Coeficiente de Variação, CV (%):

$$CV = \left( \sqrt{\frac{\sum (y_{\text{pred},i} - y_{\text{data},i})^2}{n-p}} / y'_{\text{data}} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

3. O Erro Médio da Tendência, EMT (%):

$$EMT = \frac{CV^2}{y'_{\text{data}}} \times 100 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

$y_{\text{data},i}$  são valores da variável dependente correspondentes aos valores de um grupo particular de variáveis independentes

$y_{\text{pred},i}$  valores de previstos das variáveis dependentes para o mesmo grupo de variáveis independentes acima

$y'_{\text{data}}$  o valor médio da variável dependente do grupo de dados

$n$  quantidade de pontos no grupo de dados

$p$  quantidade total de parâmetros de regressão no modelo

**Erro de Amostragem** – Erro de amostragem (EA) se refere a erros resultantes do fato de que uma amostra de peças foi observada em vez de ser observado o grupo inteiro de peças sob estudo. A situação mais simples de amostragem é aquela de uma simples amostra aleatória. Com este tipo de amostra, um número fixo de peças  $n$  é selecionado aleatoriamente de uma população do total de peças  $N$ . Cada unidade tem a mesma probabilidade de ser incluída na amostra. Neste caso, o erro padrão da média estimada é dado por:

$$EA(y) = \sqrt{\left(1 - \frac{n}{N}\right) \times \frac{\sum (y_i - y')^2}{(n-1)}} / n \quad \text{Eq.8}$$

Para amostras aleatórias mais complicadas, fórmulas mais complexas se aplicam para o erro padrão. Em geral, no entanto, o erro padrão é proporcional a  $1/(\sqrt{n})$ . Isto é, aumentando o tamanho da amostra pelo fator 'f', reduzirá o padrão de erro (melhorar a precisão da estimativa) por um fator de  $\sqrt{f}$ .

## Combinando Componentes de Incerteza

Se a estimativa de economia (S) é a soma de vários componentes estimados independentemente (C), então

$$S = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_p \quad \text{Eq. 9}$$

O erro padrão da estimativa é dado por

$$SE(S) = \sqrt{[SE(C_1)^2 + (C_2)^2 + (C_3)^2 + \dots + (C_p)^2]} \quad \text{Eq. 10}$$

Se a estimativa de economia (S) é um produto de vários componentes estimados independentemente (C), então

$$S = C_1 \times C_2 \times C_3 \times \dots \times C_p \quad \text{Eq. 11}$$

O erro padrão relativo da estimativa é dado aproximadamente por

$$S \frac{SE(S)}{S} = \sqrt{\left[\frac{SE(C_1)}{C_1}\right]^2 + \left[\frac{SE(C_2)}{C_2}\right]^2 + \left[\frac{SE(C_3)}{C_3}\right]^2 + \dots + \left[\frac{SE(C_p)}{C_p}\right]^2}$$

$$\text{Eq. 12}$$

A necessidade para que os componentes sejam estimados independentemente é crítico para a validade destas fórmulas. Independência significa que qualquer erro aleatório que afete um dos componentes não seja relacionado a erros que afetem outros componentes. Especialmente, componentes diferentes não seriam estimados pela mesma medida de regressão, ou pela mesma amostra de observações.

As fórmulas acima para combinação de erros estimados de componentes diferentes podem servir como a base para a análise da Propagação de Erro. Este tipo de análise é usado para estimar como os erros em um componente afetarão a precisão da estimativa total. Recursos de monitoramento podem então ser projetados com custo-efetividade para reduzir erro na estimativa de economia final. Esta avaliação considera:

- O efeito na precisão da estimativa de economia de uma melhoria na precisão de cada componente.
- O custo de melhorar a precisão de cada componente.

Este procedimento é descrito em termos gerais em ASHRAE 1991 e EPRI 1993.

A utilização deste método indicou que, em muitos casos, a maior contribuição para a incerteza na estimativa da economia é a incerteza nas condições do ano de referência. A Segunda maior fonte de erro tende a ser o nível de uso, normalmente medido por horas, (Violette et al. 1993). Goldberg (1996a) descreve como equilibrar erros de amostragem contra erros em estimativas para unidades individuais neste tipo de análise.

## Estabelecendo um Nível de Incerteza Quantificada

Determinar economia significa estimar uma diferença em níveis em vez de medir o próprio nível de consumo. Em geral, calcular a diferença com uma dada precisão relativa, requer uma precisão absoluta maior, portanto um tamanho maior de amostra do que medir um nível com a mesma precisão relativa. Por exemplo, suponha que a carga média é em torno de 500 KW, e a economia antecipada é em torno de 100 KW. Um erro de 10% com 90% de critério de confiabilidade (90/10) aplicado à carga demandaria precisão absoluta de 50 KW a 90 por cento de confiabilidade. O critério 90/10 aplicado à economia demandaria precisão absoluta de 10 KW ao mesmo nível de confiabilidade.

No M&V, o critério de precisão pode ser aplicado não só para a demanda ou economia de energia, mas também para parâmetros que determinam a economia. Por exemplo, suponha que a quantidade de economia é o produto de número (N) de unidades, horas (H) de operação e mudança (C) em watts:

$$S = N \times H \times C \quad \text{Eq. 13}$$

O critério 90/10 poderia ser aplicado separadamente para cada um destes parâmetros. No entanto, alcançar precisão 90/10 para cada um destes parâmetros separadamente não implica no alcance de 90/10 para a economia, que o parâmetro de interesse final. Por outro lado, se assumir-se que o número de unidades e mudança em watts são conhecidos sem erro, precisão de 90/10 para horas implica em precisão 90/10 para economia.

No contexto da M&V, o padrão de precisão pode ser imposto em vários níveis. A escolha de nível de desagregação afeta drasticamente as exigências de tamanho da amostra e custos associados de monitoramento. Opções possíveis incluem o seguinte:

- Para locais individuais, onde a amostragem é conduzida dentro de cada local.
- Para toda a economia associada com um tipo especial de tecnologia, através de vários locais por um dado projeto, onde ambos, locais e unidades nos locais possam ser transformados em amostras.
- Para toda economia associada a um tipo especial de tecnologia em um tipo especial de uso, através de vários locais para um projeto
- Para toda economia associada com todas as tecnologias e locais para uma dada ESCO

Em geral, quanto melhor o nível ao qual o critério de precisão é imposto, maior a exigência na coleta de dados. Se o objetivo primário é garantir precisão de economia para um projeto ou grupo de projetos como um todo, não é necessário impor a mesma exigência de precisão em cada subgrupo. Na verdade, um alvo uniforme de precisão relativa para cada subgrupo, está em conflito com o objetivo de obter a melhor precisão possível para o projeto como um todo.

## Apêndice C : Técnicas de Medição

Eletricidade
Runtime
Temperatura
Umidade
Fluxo
Pressão
Energia Térmica

### Eletricidade

A forma mais comum de registrar corrente alternada para aplicações de eficiência e economia de energia é com um transformador de corrente ou um transdutor de corrente (TC). Os TCs são instalados em fios conectados a cargas específicas tais como motores, bombas, ou lâmpadas, e então conectados a um medidor de corrente (amperímetro) ou medidor de potência. Os TCs estão disponíveis em núcleo partido ou configurações toroidais sólidas. TC's com toróides são normalmente mais econômicos do que os de núcleo partido mas exigem que a carga seja desligada por um curto período enquanto são instalados. Os TCs de núcleo partido permitem a instalação sem o desligamento da carga. Ambos os tipos de TCs são oferecidos normalmente com precisão maior do que um por cento.

*A voltagem é verificada por uma conexão direta à fonte de potência. Alguns voltímetros e aparelhos de medição de potência são diretamente ligados, enquanto outros utilizam um dispositivo intermediário, um transformador de potencial (TP), para diminuir a voltagem para níveis mais seguros no medidor.*

Embora a potência elétrica seja o produto da voltagem pela corrente, medidas separadas de voltagem e corrente não devem ser usadas para cargas indutivas tais como motores ou reatores. Medidores digitais de potência devem ser usados.

Tais medidores são especialmente importantes se dispositivos de frequência variável ou outros dispositivos de produção de harmônicos estão no mesmo circuito, resultando na possibilidade de voltagens harmônicas nos terminais de motor. Medições diretas de potência e de energia, baseadas em princípios de amostragem digital, são recomendadas devido à sua habilidade de medir precisamente formas de onda distorcidas and registrar adequadamente formas de potência.

Recomenda-se o equipamento de medição de força dentro do IEEE padrão 519-1992 taxa de amostra de 3 kHz seja selecionado onde harmônicos estejam presentes. A maioria dos equipamentos de medição com técnicas adequadas de amostragem tratam destas questões.

Os usuários devem, no entanto, solicitar documentação dos fabricantes de medidores para garantir que o equipamento está medindo precisamente o uso de eletricidade sob distorções em forma de onda.

A potência pode ser medida diretamente usando transdutores de watt. Transdutores de energia Watt-hora que integram potência ao longo do tempo, eliminam o erro inerente a assumir ou ignorar variações de carga ao longo do tempo. Pulsos são normalmente registrados por um registrador de dados de contagem de pulsos para arquivamento e subsequente recuperação e análise. Uma tecnologia alternativa envolve a combinação de medição e funções de registro de dados em um único equipamento.

Wattímetros portáteis, em vez de amperímetros devem ser usados para medidas localizadas de watts, volts, ampères, fatores de carga ou formas de onda. Independentemente do tipo de dispositivo elétrico em estado sólido de medição usado, recomenda-se que o dispositivo atinja as exigências mínimas de performance para precisão dos padrões do Instituto Nacional de Padrões da America para medidores de eletricidade em estado sólido., ANSI C12.16-1991, publicado pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos. Este padrão se aplica a medidores de eletricidade em estado sólido, que são usados inicialmente como medidores de watt-

hora, normalmente exigindo precisão de um a dois por cento, baseado na variação de carga, fator de potência e voltagem.

## **Tempo de Duração**

A determinação de economia de energia pode envolver a medição do tempo durante o qual uma peça de equipamento esteja ligada, e aí multiplicá-lo por uma medição instantânea de potência.

Motores de cargas constantes e luzes são exemplos de equipamentos que não precisam ser medidos continuamente com medidores registrando watt-hora para estabelecer consumo de energia. Dispositivos de monitoramento movidos à bateria estão disponíveis para registrar o tempo de duração do equipamento e, em alguns casos, informação do tempo do uso. Este equipamento oferece uma abordagem de preço acessível e fácil instalação para cálculos de economia de energia.

## **Temperatura**

Os dispositivos de medição de temperatura computadorizados mais usados são detetores de temperatura a resistência (DTR), termopares, termistores, e sensores de temperatura de circuitos integrados (CI).

*Detetor de Resistência de Temperatura* ou DTR – Estes são equipamentos comuns para a medição de temperatura do ar e da água no campo de gerenciamento de energia. Eles estão entre os elementos térmicos disponíveis mais precisos, reproduzíveis, estáveis e sensíveis. Um DTR mede a mudança da resistência elétrica em materiais especiais.

DTR são econômicos e disponíveis prontamente em pacotes de configuração para medir temperaturas do ar interna e externa, assim como temperaturas de fluidos em sistemas de resfriamento ou aquecimento de água.. Considerando a performance geral, os DTRs mais populares são dispositivos de platina de 100 e 1.000 Ohm em várias embalagens incluindo, chips de cerâmica, tiras flexíveis e instalações encapsuladas. Dependendo da aplicação, estão disponíveis DTRs de dois, três ou quatro fios..

Precisão, distância e percurso exigidos entre o DTR e o dispositivo de registro de dados podem determinar o tipo específico de DTR para um projeto. DTRs de quatro fios oferecem um nível de precisão raramente exigido na determinação de economia de energia, e são encontrados com mais frequência em serviços de alta precisão ou no laboratório.

DTRs de três fios compensam para aplicações nas quais um DTR exige um longo comprimento de fio, exposto a várias condições de ambiente. Fios de comprimentos e materiais iguais exibem características similares de temperatura de resistência e podem ser usados para cancelar o efeito dos condutores longos em circuitos ponte projetados apropriadamente. DTRs de dois condutores têm que receber calibragem de campo para compensar o comprimento do condutor e não deve ter fios expostos a condições que variem significativamente daquelas que estejam sendo medidas.

A instalação dos DTRs é relativamente simples com a vantagem de que fios de cobre de condutores convencionais podem ser usados ao contrário de termopares mais caros. A maioria dos equipamentos de medição permitem conexão direta dos DTRs , fornecendo condições internas de sinal e a habilidade de estabelecer coeficientes de calibragem e desvio.

*Termopares* – Medem temperatura usando dois metais não similares, ligados em uma das extremidades, que produzem uma pequena voltagem única em uma dada temperatura que é medida e interpretada por um termômetro termopar.

es são encontrados em diferentes combinações de metal, cada um com uma faixa diferente de temperatura. Além da faixa de temperatura, considere corrosão química, resistência à vibração e exigências para instalação quando for escolher um termopar.

Em geral, termopares são usados quando dados de temperatura razoavelmente precisos são exigidos. A principal desvantagem dos termopares é o fraco sinal de saída, tornando-os sensíveis a ruído elétrico e sempre exigindo amplificadores. Poucas situações de determinação de economia de energia, com exceção de medição de energia térmica, garantem a precisão e complexidade da tecnologia de termopar.

*Termistores* – Estes são sensores de temperatura semicondutores que normalmente consistem de um óxido de manganês, níquel, cobalto ou um de outros vários tipos de material. Uma das diferenças primárias entre termistores e DTRs é que termistores tem uma grande mudança de resistência com a temperatura. Termistores não são intercambiáveis, e a sua relação temperatura - resistência é não linear. Eles são dispositivos frágeis e requerem o uso de linhas de força protegidas, filtros ou voltagem DC. Assim como os termopares, estes dispositivos são raramente usados em determinações de economia.

*Sensores de Temperatura de Circuito Integrado* – Certos diodos semicondutores e transistores também exibem sensibilidade de temperatura reproduzível. Tais dispositivos são normalmente sensores de Circuitos Integrados (CI que podem vir em vários formatos e tamanhos. Estes dispositivos são ocasionalmente encontrados em aplicações HVAC onde custo baixo e uma forte saída linear são exigidos. Sensores CI têm um erro absoluto bastante razoável, mas eles exigem uma fonte externa de energia, são frágeis e sujeitos a erros devido a auto-aquecimento.

## **Umidade**

Realizar medições de umidade precisas, baratas e confiáveis têm sempre sido uma tarefa difícil que consome tempo. Equipamento para medir umidade relativa é encontrado em vários pontos de venda e a instalação é bastante direta.

No entanto, a calibragem de sensores de umidade continua sendo uma grande preocupação (ver Capítulo 5.4) e deve ser cuidadosamente descrito no Plano M&V e documentado em relatórios de economia.

Tipos diferentes de medição de fluxo podem ser usados para quantidades tais quais gás natural, óleo, vapor, condensado, água, ou ar comprimido. Esta sessão discute os dispositivos mais comuns de medição de fluxo de líquido. Em geral, sensores de fluxo podem ser agrupados em dois tipos diferentes de medidores:

1. Medidores de Fluxo Intrusivos (Pressão e Obstrução Diferenciais)
2. Medidores de Fluxo Não-Intrusivos (Ultrasonico e Magnético)

A escolha de um medidor de fluxo para uma determinada aplicação demanda conhecimento do tipo de fluido que está sendo medido, quão sujo ou limpo ele está, as velocidades de fluxos mais altas e baixas esperadas, e o orçamento.

## **Fluxo**

*Medidores de Fluxo por Diferencial de Pressão* – O cálculo de fluxo de fluido através da medição da perda de pressão através de um estreitamento de tubo talvez seja a técnica de medição de fluxo usada de forma mais comum em aplicações de construção e indústria. As quedas de pressão geradas por uma ampla variedade de restrições geométricas têm sido bem caracterizadas ao longo dos anos, e, estes elementos de fluxo primários ou principais são encontrados em uma ampla variedade de configurações, cada um com pontos fortes e fracos específicos na aplicação. Exemplos de medidores de fluxo que usam o conceito de medição por diferencial de pressão incluem medidor de placa com orifício, Venturímetro, e medidor de Tubo Pitot. A precisão de medidores por diferencial pressão está tipicamente nas proximidades de 1-5% do fluxo máximo para o qual cada medidor é calibrado.

*Medidores de Fluxo por Obstrução* – Vários tipos de medidores por obstrução foram desenvolvidos e são capazes de fornecer um sinal linear de saída sobre uma ampla faixa de fluxos, freqüentemente sem a severa punição de perda de pressão que incorre na placa com orifício ou nos venturímetros. Em geral, estes medidores colocam um pequeno alvo, peso ou roda na corrente de fluxo que permite a determinação da velocidade de fluxo pela velocidade rotativa do medidor (turbina) ou pela força no corpo de medição (vórtice).

*Medidores de Turbina* – Eles medem fluxo de fluido através da contagem das rotações de um rotor que é colocado em uma corrente de fluxo. Medidores de Turbina podem ser de tipo axial ou de inserção.

Medidores axiais de turbina normalmente têm um rotor axial e um envólucro que tem o tamanho certo para uma instalação apropriada. Um medidor de turbina de inserção permite que a turbina axial seja inserida na corrente de fluxo e usa um tubo existente como corpo de medição. Uma vez que o medidor de turbina de inserção só mede a velocidade de fluxo em um único ponto na área de seção transversal de um cano, a taxa volumétrica total para o cano só pode ser deduzida com precisão se o medidor for instalado de acordo com as especificações do fabricante. O mais importante na inserção de medidores de turbina é a instalação em seções retas do tubo, afastadas da turbulência de fluxo interno. Este tipo de medidor pode ser inserido sem que o sistema tenha que ser fechado. Medidores de inserção podem ser usados em tubulações com mais de quatro polegadas com perda de pressão muito baixa. Medidores de turbina fornecem uma saída que é linear com o fluxo.

Cuidado tem que ser tomado ao usar turbinas uma vez que elas podem ser danificadas por destroços e estão sujeitas a corrosão. Medidores de inserção podem ser danificados durante a inserção ou retirada.

*Medidores de Vórtice* – Eles utilizam o mesmo princípio básico que faz os fios de telefone oscilarem no vento entre postes telefônicos. Este efeito é devido à instabilidade oscilante em um campo de baixa pressão depois que ele se parte em duas correntes de fluxo em volta de um objeto arredondado. Medidores de Vórtice exigem manutenção mínima e têm alta precisão e repetibilidade de longa duração. Medidores de Vórtice fornecem um sinal linear de saída que pode ser capturado por equipamento de medição e monitoramento.

*Medidores de Fluxo não interferentes* – Eles são bem adequados para aplicações nas quais a queda de pressão de um medidor de fluxo intrusivo é de preocupação crítica, ou o fluido está sujo, como em esgoto, massa semifluida, óleo bruto, produtos químicos, alguns ácidos, água de processo, etc.

*Medidores de fluxo Ultrasônicos* – Eles medem velocidade de fluidos limpos através da detecção de pequenas diferenças no tempo de transmissão de ondas sonoras que são disparadas em um ângulo através de uma corrente de fluido.

Medidores de fluxo precisos ultra-sônicos de grampo facilitam a medição rápida das velocidades de fluido em tubos de tamanhos variados. Uma taxa de precisão de 1% do fluxo real a 2% da escala total já é possível, embora esta tecnologia ainda seja consideravelmente cara. Recentemente, foi desenvolvido um medidor de ultra-som que usa o princípio Doppler no lugar do tempo de transmissão. Em tal medidor, uma certa quantidade de partículas e ar é necessária de forma que o sinal seja rebatido e detectado pelo receptor. Medidores de efeito Doppler estão disponíveis com uma precisão entre 2% e 5% de escala total e têm preços de certa forma menores que os dispositivos ultra-sônicos, padrões de trânsito tempo-efeito. O custo do medidor independe do tamanho do cano. Medidores ultra-sônicos podem ter custo baixo de instalação uma vez que não requerem o fechamento do sistema para cortar os tubos para instalação.

*Medidores de fluxo magnético* – Eles medem o distúrbio que um líquido em movimento causa em um campo magnético forte. Medidores de fluxo magnético são normalmente mais caros que outros tipos de medidores. Eles têm vantagens de alta precisão e nenhuma parte móvel. Precisão de medidores de fluxo magnético estão na faixa de 1-2% no fluxo efetivo.

## **Pressão**

Métodos mecânicos de medir pressão são conhecidos há muito tempo. Manômetros tubo-U estão entre os primeiros indicadores de pressão. Mas manômetros são grandes, pesados, e não adequados para a integração em circuitos automáticos de controle. Portanto, manômetros são normalmente encontrados no laboratório ou usados como indicadores locais. Dependendo da pressão de referência usada, eles podem indicar pressão absoluta, relativa, ou diferencial. Coisas que devem ser mantidas em mente enquanto é feita a escolha de dispositivos de medição de pressão são: faixa de pressão, efeitos de temperatura, saídas (millivolt, voltagem ou sinal de corrente) e ambiente de aplicação. Transmissores de pressão modernos vieram dos transdutores de diferencial de pressão usados em medidores de fluxo. Eles são usados na construção de sistemas de

gerenciamento de energia e são capazes de medir pressões com a precisão necessária para pressurização adequada de construção e controle do fluxo de ar.

## **Energia Térmica**

A medição do fluxo de energia térmica requer a medição do fluxo de alguma diferença de temperatura. Por exemplo, o resfriamento fornecido por um chiller é registrado em Btu e é um valor calculado, determinado pela medição do fluxo de água resfriada e a diferença de temperatura entre o fornecimento de água resfriada e as linhas de retorno. Um medidor de fluxo de energia realiza um cálculo interno de Btu em tempo real, baseado na entrada de um medidor de fluxo e sensores de temperatura. Ele também usa softwares com constantes para o calor específico do fluido a ser medido. Estes medidores eletrônicos de fluxo de energia oferecem uma precisão melhor do que 1%. Eles também fornecem outros dados úteis do fluxo e da temperatura (tanto fornecimento quanto retorno).

Quando uma instalação de aquecimento ou resfriamento está sob carga baixa relativa a sua capacidade pode haver uma diferença pequena de até 5°F entre as duas correntes de fluxo. Para evitar erro significativo na medição de energia térmica, os dois sensores de temperatura devem ser combinados ou calibrados à tolerância mais próxima possível. É mais importante que os sensores estejam combinados, ou calibrados com relação um ao outro, do que suas calibrações serem rastreadas por um padrão. Fornecedores de DTRs podem oferecer grupos de dispositivos combinados quando encomendados com este propósito. Especificações normais de aquisição são para um grupo combinado de conjuntos DTR (cada um consistindo de uma ponta de prova DTR, braço, cabeça de conexão com fios terminais e um invólucro de aço inoxidável), calibrados para indicar a mesma temperatura, por exemplo dentro de uma tolerância de 0.1°F sobre a faixa de 25°F a 75°F. Uma folha de dados de calibração é normalmente fornecida com cada grupo.

O desenho e instalação dos sensores de temperatura usados para medições de energia térmica deverão considerar o erro causado por: colocação do sensor no cano, condução do invólucro, e qualquer transmissor, fonte de potência ou conversor de analógico para digital. Uma análise completa de erro através do sistema de medição é sugerido, em reconhecimento à dificuldade de se fazer medições térmicas precisas.

Medição de energia térmica para vapor pode requerer medições de fluxo de vapor (i.e., fluxo de vapor ou fluxo de condensação), pressão de vapor, temperatura e temperatura de água de alimentação onde o conteúdo de energia do vapor é então calculado usando tabelas de vapor. Em instâncias onde a produção de vapor é constante, isto pode ser reduzido a medidas de fluxo de vapor ou fluxo condensado (i.e., assume uma temperatura-pressão de vapor constante e temperatura-pressão de água de abastecimento) com temperatura ou pressão de vapor ou fluxo de condensação.