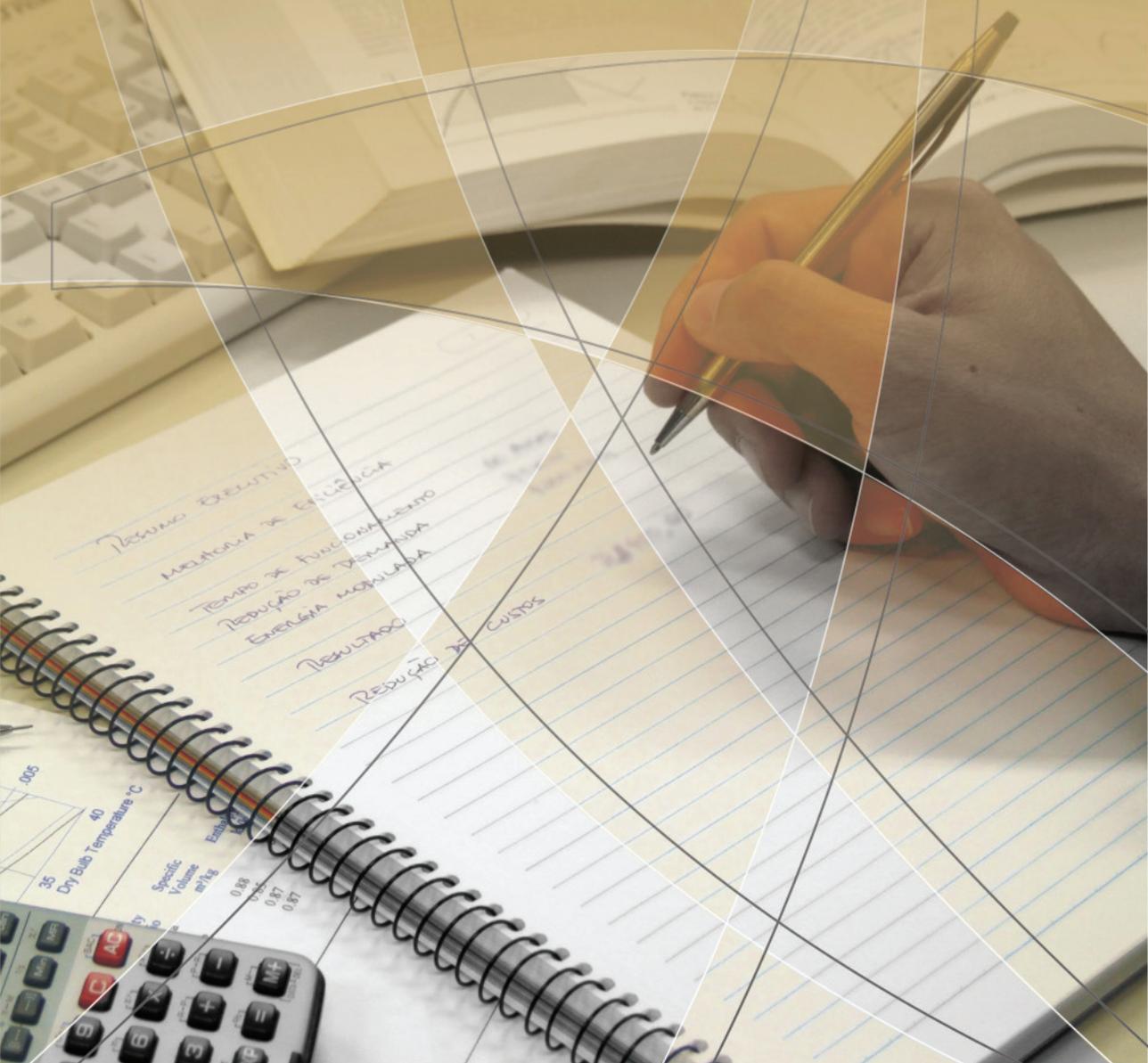


Eficiência Energética

Teoria & Prática



Eficiência Energética

Teoria & Prática

1ª Edição

Eletrobrás / PROCEL EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

FUPAI

Itajubá, 2007

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Teoria & Prática

Coordenação

Milton César Silva Marques (Eletrobrás/PROCEL)

Jamil Haddad (UNIFEI/EXCEN)

Eduardo Crestana Guardia

Autores¹

Afonso Henriques Moreira Santos

Edson da Costa Bortoni

Eduardo Crestana Guardia

Fábio José Horta Nogueira

Jamil Haddad

Luiz Augusto Horta Nogueira

Marcelo José Pirani²

Marcos Vinícius Xavier Dias

Osvaldo Venturini

Ricardo Dias Martins de Carvalho

Roberto Akira Yamachita

¹ *Professores e Pesquisadores da Universidade Federal de Itajubá*

² *Professor da Universidade Federal da Bahia*

Eficiência Energética

Teoria & Prática



Minas e Energia
Ministério de Minas e Energia

Educação
Ministério da Educação

Eletrobrás 



UNIFEI



Diagramação, foto e criação da capa:

Marcos Vinícius Xavier Dias

Revisão de texto:

Kelly Fernanda dos Reis

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Eficiência energética : teoria & prática /
[coordenação Milton César Silva Marques, Jamil
Haddad, Eduardo Crestana Guardia]. -- 1. ed. --
Itajubá, MG : FUPAI, 2007.

Vários autores.

Parceria: Eletrobrás/Procel Educação, Universidade
Federal de Itajubá - UNIFEI
Bibliografia

1. Conservação de energia I. Marques, Milton
César Silva. II. Haddad, Jamil. III. Guardia,
Eduardo Crestana.

07-7546

CDD-621.042

Índices para catálogo sistemático:

1. Conservação de energia : Tecnologia
621.042
2. Energia : Conservação : Tecnologia
621.042

ISBN: 978-85-60369-01-0

A publicação do livro “Eficiência Energética: Teoria & Prática” só foi possível graças ao apoio do PROCEL EDUCAÇÃO, subprograma do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, cuja secretaria executiva encontra-se na Eletrobrás, empresa do Ministério de Minas e Energia.

A reprodução parcial ou total desta obra só é permitida com a devida autorização dos autores. As opiniões mencionadas na presente publicação são de responsabilidade dos autores e não representam necessariamente o ponto de vista da Eletrobrás / PROCEL.

FICHA TÉCNICA

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro Interino

Nelson José Hubner Moreira

DEPARTAMENTO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

Diretora

Laura Cristina da Fonseca Porto

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Ministro

Fernando Haddad

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. - ELETROBRÁS

Presidente Interino

Valter Luiz Cardeal de Souza

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA- PROCEL

Secretário Executivo

João Ruy Castelo Branco de Castro

Supervisão

Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos

Hamilton Pollis

Coordenação Geral

Milton César Silva Marques

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI

Reitor

Renato de Aquino Faria Nunes

FUNDAÇÃO DE PESQUISA E ACESSORAMENTO À INDÚSTRIA - FUPAI

Presidente

Djalma Brighenti

ÍNDICE

Prefácio	XVII
Apresentação	XIX

Capítulo 1 - GERENCIAMENTO ENERGÉTICO

1.1. Introdução	1
1.2. Relatório do Diagnóstico Energético	4
1.3. Comissão Interna de Conservação de Energia	6
1.4. Caso 1: Correção do fator de potência na Cifa Têxtil	13
1.4.1. Características da empresa	13
1.4.2. Apresentação e objetivos	13
1.4.3. Metodologia adotada para implantação do projeto	13
1.4.4. Detalhes da implementação	17
1.4.5. Prazos e custos	18
1.4.6. Resultados e benefícios alcançados	19
1.5. Caso 2: Eficientização predial no Edifício Linneo de Paula Machado	21
1.5.1. Características da empresa	21
1.5.2. Apresentação e objetivos	22
1.5.3. Metodologia adotada para implantação do projeto	23
1.5.4. Detalhes da implementação	24
1.5.5. Prazos e custos	28
1.5.6. Resultados e benefícios alcançados	29
1.6. Caso 3: Campanha de conscientização do uso de energia na TOSHIBA ..	30
1.6.1. Características da empresa	30
1.6.2. Apresentação e objetivos	30

ÍNDICE

1.6.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	32
1.6.4. Detalhes da implementação	34
1.6.5. Prazos e custos	35
1.6.6. Resultados e benefícios alcançados	36
1.7. Caso 4: Parâmetros para formação da CICE na CONTINENTAL.....	38
1.7.1. Características da empresa	38
1.7.2. Apresentação e objetivos.....	38
1.7.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	40
1.7.4. Detalhes da implementação	41
1.7.5. Prazos e custos	43
1.7.6. Resultados e benefícios alcançados	44
1.8. Caso 5: Sistema de Gestão energética na MASA da Amazônia	45
1.8.1. Características da empresa	45
1.8.2. Apresentação e objetivos.....	45
1.8.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	46
1.8.4. Detalhes da implementação	47
1.8.5. Prazos e custos	49
1.8.6. Resultados e benefícios alcançados	50
Bibliografia Gerenciamento Energético	52

Capítulo 2 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

2.1. Introdução.....	55
2.2. Definições	55
2.2.1. Controlador de luz	55

ÍNDICE

2.2.2. Depreciação do fluxo luminoso	56
2.2.3. Difusor	56
2.2.4. Eficiência Luminosa de uma fonte	57
2.2.5. Fator de manutenção	57
2.2.6. Fator de utilização	57
2.2.7. Iluminância	58
2.2.8. Índice de Reprodução de Cor	59
2.2.9. Mortalidade de lâmpadas	59
2.2.10. Reator.....	60
2.2.11. Vida Mediana Nominal	60
2.3. Cálculo de Iluminação.....	60
2.3.1. Escolha do Nível de Iluminamento	60
2.3.2. Determinação do Fator do Local	61
2.3.3. Escolha das Lâmpadas e das Luminárias	61
2.3.4. Determinação do Fator de Utilização	61
2.3.5. Determinação do Fluxo Total	62
2.3.6. Cálculo do Número de Luminárias.....	63
2.3.7. Distribuição das Luminárias	64
2.4. Considerações sobre as luminárias	65
2.5. Caso 1: Substituição da iluminação na Cia. Tecidos Santanense	68
2.5.1. Características da empresa	68
2.5.2. Apresentação e objetivos.....	68
2.5.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	68
2.5.4. Detalhes da implementação	69

ÍNDICE

2.5.5. Prazos e custos	70
2.5.6. Resultados e benefícios alcançados	71
2.6. Caso 2: Aproveitamento da luz natural na MICHELIN.....	73
2.6.1. Características da empresa	73
2.6.2. Apresentação e objetivos.....	73
2.6.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	73
2.6.4. Detalhes da implementação	74
2.6.5. Prazos e custos	75
2.6.6. Resultados e benefícios alcançados	76
2.7. Caso 3: Aplicação da tecnologia T5 na METAGAL	76
2.7.1. Características da empresa	76
2.7.2. Apresentação e objetivos.....	76
2.7.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	78
2.7.4. Detalhes da implementação	79
2.7.5. Prazos e custos	82
2.7.6. Resultados e benefícios alcançados	83
Bibliografia Iluminação	84

Capítulo 3 - ACIONAMENTOS

3.1. Introdução	87
3.2. Perdas e Rendimento	89
3.3. Motor de alto rendimento.....	92
3.4. Análise de carregamento.....	94

ÍNDICE

3.5. Análise do processo dinâmico	96
3.6. Análise térmica	100
3.7. O que fazer com motores sobredimensionados	101
3.8. Economia de energia com o uso de controladores de velocidade.....	102
3.9. Caso 1: Substituição tecnológica na Buaiz	106
3.9.1. Características da empresa	106
3.9.2. Apresentação e objetivos.....	106
3.9.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	108
3.9.4. Detalhes da implementação	108
3.9.5. Prazos e custos	112
3.9.6. Resultados e benefícios alcançados.....	112
3.10. Caso 3: Substituição por alto rendimento e inversores na Cocelpa.....	113
3.10.1. Características da empresa.....	113
3.10.2. Apresentação e objetivos	113
3.10.3. Metodologia adotada para implantação do projeto	115
3.10.4. Detalhes da implementação.....	115
3.10.5. Prazos e custos.....	117
3.10.6. Resultados e benefícios alcançados.....	118
3.11. Caso 4: Controle da velocidade de ventiladores na SANTHER.....	119
3.11.1. Características da empresa.....	119
3.11.2. Apresentação e objetivos	119
3.11.3. Metodologia adotada para implantação do projeto	120
3.11.4. Detalhes da implementação.....	121

ÍNDICE

3.11.5. Prazos e custos.....	126
3.11.6. Resultados e benefícios alcançados.....	127
Bibliografia Acionamentos	128

Capítulo 4 - CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

4.1. – Introdução	131
4.2. – Melhorias Relativas à Estrutura	132
4.2.1. – Transmissão Térmica	132
4.2.2. – Insolação	133
4.2.3. – Infiltração de Ar e Umidade	133
4.2.4. Geração Interna	133
4.3. – Melhorias Relativas ao Sistema de Condicionamento de Ar	135
4.3.1. – Projeto do Sistema	135
4.3.2. – Operação do Sistema	136
4.3.3. – Manutenção do Sistema.....	137
4.4. – Melhorias por Tipo de Sistema de Ar Condicionado	139
4.4.1. – Sistemas Com Vazão de Ar Variável	139
4.4.2. – Sistemas Com Vazão de Ar Constante	139
4.4.3. – Sistemas de Indução.....	140
4.4.4. Sistemas Duplo Duto	140
4.4.5. – Sistemas de Zona Única	141
4.4.6. - Sistemas com Reaquecimento Terminal	141
4.5. – Controle e Regulagem.....	142
4.6. – Rendimentos dos Equipamentos de Condicionamento de Ar	142

4.7. Caso 1: Instalação de termo-acumulação na FIESP	144
4.7.1. Características da empresa	144
4.7.2. Apresentação e objetivos	145
4.7.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	147
4.7.4. Detalhes da implementação	148
4.7.5. Prazos e custos	152
4.7.6. Resultados e benefícios alcançados	152
4.8. Caso 2: Modernização da CAG no Hospital do Coração	155
4.8.1. Características da empresa	155
4.8.2. Apresentação e objetivos	155
4.8.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	156
4.8.4. Detalhes da implementação	157
4.8.5. Prazos.....	161
4.8.6. Resultados e benefícios alcançados	161
4.9. Caso 3: Unificação de CAGs na Telefônica.....	162
4.9.1. Características da empresa	162
4.9.2. Apresentação e objetivos	162
4.9.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	163
4.9.4. Detalhes da implementação	164
4.9.5. Prazos	167
4.9.6. Resultados e benefícios alcançados	169
4.10. Caso 4: Modernização da CAG no Edifício Faria Lima	170
4.10.1. Características da empresa.....	170
4.10.2. Apresentação e objetivos	170

ÍNDICE

4.10.3. Metodologia adotada para implantação do projeto	172
4.10.4. Detalhes da implementação.....	173
4.10.5. Prazos e custos.....	176
4.10.6. Resultados e benefícios alcançados.....	177
4.11. Caso 5: Automação e substituição da CAG no Condomínio São Luiz	180
4.11.1. Características da empresa.....	180
4.11.2. Apresentação e objetivos	180
4.11.3. Metodologia adotada para implantação do projeto	181
4.11.4. Detalhes da implementação.....	181
4.11.5. Prazos e custos.....	186
4.11.6. Resultados e benefícios alcançados.....	186
Bibliografia Condicionamento Ambiental	189

Capítulo 5 - SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

5.1. Introdução	191
5.2. Conceitos teóricos básicos	192
5.2.1. Rendimento dos Compressores.....	192
5.2.2. Compressão dos Gases.....	193
5.2.3. Trabalho Teórico de Compressão.....	197
5.2.4. Compressão em Estágios.....	198
5.2.5. Potência Real de Compressão	199
5.3. Melhoria da eficiência em sistemas de ar comprimido	200
5.4. Caso 1: Gerenciamento do ar comprimido na MICHELIN.....	203
5.4.1. Características da empresa	203
5.4.2. Apresentação e objetivos.....	203

ÍNDICE

5.4.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	204
5.4.4. Detalhes da implementação	204
5.4.5. Prazos e custos	207
5.4.6. Resultados e benefícios alcançados	208
5.5. Caso 2: Gerenciamento de ar comprimido na 3M do Brasil	209
5.5.1. Características da empresa	209
5.5.2. Apresentação e objetivos.....	210
5.5.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	210
5.5.4. Detalhes da implementação	211
5.5.5. Prazos e custos	213
5.5.6. Resultados e benefícios alcançados	213
5.6. Caso 3: Recuperação de calor em compressores na Belgo Bekaert	216
5.6.1. Características da empresa	216
5.6.2. Apresentação e objetivos.....	216
5.6.3. Metodologia adotada para implantação do projeto.....	216
5.6.4. Detalhes da implementação	217
5.6.5. Prazos e custos	221
5.6.6. Resultados e benefícios alcançados	222
Bibliografia Sistemas de Ar Comprimido	223
AGRADECIMENTOS FINAIS	224

PREFÁCIO

Para definir estratégias, como a de mobilizar a sociedade para o uso responsável e eficiente da energia elétrica, combatendo seu desperdício, o Governo Federal, por intermédio do Ministério de Minas e Energia, criou, em 1985, o PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, cuja Secretaria Executiva é exercida pela Eletrobrás.

Ao economizar energia, estamos adiando a necessidade de construção de novas usinas geradoras e sistemas elétricos associados, disponibilizando recursos para outras áreas e contribuindo para a preservação da natureza.

A partir de sucessivas crises nacionais e internacionais, afetando o abastecimento, durante as quais a economia de energia passou a fazer parte de um grande esforço nacional de combate ao desperdício, o PROCEL ampliou sua área de atuação, desenvolvendo uma série de projetos, dirigidos para as classes de consumo industrial, comercial, residencial, iluminação pública, rural e poder público, com ênfase em prédios públicos.

Concomitantemente, dentre outras iniciativas relevantes, o Programa contribuiu para a melhoria do rendimento energético de materiais e equipamentos elétricos de uso final, por meio da outorga do Selo PROCEL de Economia de Energia, capacitou tecnologicamente centros de pesquisa e laboratórios, visando à implementação da Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001), além de interagir com instituições voltadas à educação formal do país em conformidade com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, com o objetivo de retirar o consumo perdulário do Brasil, avaliado em cerca de 20% do consumo total de energia elétrica do país.

A interação com o processo educativo se fez, a partir de 1993, por meio de um Acordo de Cooperação Técnica entre os Ministérios de Minas e Energia e o da Educação, estabelecendo, para cada nível de ensino, uma forma apropriada de abordar as questões da conservação de energia.

Na Eletrobrás/PROCEL, o núcleo denominado PROCEL EDUCAÇÃO se organizou para atender à nova demanda, estabelecendo parcerias com competências técnicas educativas que pudessem desenvolver um produto adequado à Educação Básica, à Educação Média Técnica e à Educação Superior.

PREFÁCIO

A conservação de energia, como conceito socioeconômico, tanto no uso final como na oferta de energia, está apoiada em duas ferramentas, para conquistar sua meta: mudança de hábitos e eficiência energética. Na área educativa, o foco “mudança de hábitos” ficou sediado na Educação Básica (Infantil, Fundamental e Média). Nas Escolas Técnicas (nível médio) e nas Instituições de Nível Superior, ficaram sediadas as questões da eficiência energética, diretamente ligadas às técnicas e tecnologias disponíveis para a conservação de energia.

A eficiência energética, como instrumento de conservação de energia, cada vez mais se aproxima das necessidades do cidadão brasileiro. Esse cada vez mais consciente de sua importância para economia do país, para o meio-ambiente e, portanto, para toda a sociedade. Os corpos docentes e discentes de nossas universidades se destacam, pois, além de cidadãos são educadores e educandos que podem, nas suas atividades diárias, contribuir para a disseminação da eficiência energética e sua melhoria. Com esse propósito, é preciso que sistemas, metodologias, tecnologias, materiais e equipamentos, sejam conhecidos por professores e alunos do ensino superior, principalmente os de engenharia e os de arquitetura, os quais estão diretamente conectados ao tecnicismo envolvido com esse tema.

É com esse intuito que esta publicação, resultado da parceria entre a Eletrobrás/PROCEL e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI-MG), é disponibilizada especialmente para o meio acadêmico, podendo servir de apoio às disciplinas de eficiência energética nas Instituições de Ensino Superior.

Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos

Eletrobrás/PROCEL

APRESENTAÇÃO

Pelo exemplo se ensina, pelo exemplo se aprende. Com esse enfoque, baseando-se em casos concretos de redução de perdas energéticas, implementados em empresas industriais e comerciais brasileiras, este livro visa apresentar aspectos teóricos e práticos do uso responsável da energia e estimular sua adoção. Embora possa, em bases economicamente competitivas, aportar efetivos e relevantes resultados na economia de recursos naturais e na mitigação do impacto ambiental dos sistemas energéticos, o incremento da eficiência energética junto aos usuários é uma alternativa ainda freqüentemente considerada de forma limitada, sendo imperativo difundir seus métodos e resultados. Nesse sentido, os casos estudados abrangem praticamente todos os aspectos de interesse, abrangendo gerenciamento energético, sistemas de iluminação, acionamentos, ar comprimido e condicionamento ambiental; entre outros temas específicos.

Como um ponto a ressaltar, as ações envolvendo eficiência energética realmente podem ser uma alternativa para a sociedade no atendimento da expansão da demanda de energia. A crise energética vivida no Brasil em 2001, a despeito das práticas de racionamento adotadas, mostrou que o fomento à eficiência ou à conservação de energia, contribuiu, efetivamente, com o esforço de se manter o equilíbrio oferta-demanda de energia elétrica. Nessa direção, é decisivo o papel do usuário, já que enquanto a decisão de se investir na expansão da oferta de energia elétrica, a despeito dos mecanismos de mercado, é induzida principalmente por ações e incentivos governamentais, a opção de atuar através da redução das perdas e desperdícios por meio da eficiência energética compete, em grande parte, ao consumidor final.

Além disso, enquanto no passado a eficiência energética era tratada, basicamente, sob o aspecto técnico, ou seja, a economia de energia era conseguida por meio do emprego de um equipamento mais eficiente ou de uma nova tecnologia agregada ao próprio equipamento ou processo. Recentemente, reconhecendo o papel dos consumidores, os aspectos comportamentais e os atos de motivação e marketing, atrelados às questões ambientais, têm sido cada vez mais valorizados. Com efeito, resultados significativos na economia de energia podem ser conseguidos mediante a simples sensibilização dos usuários assegurada pela correta informação. Sem dúvida, para o bom uso da energia, é necessário difundir informação e o conhecimento aplicado.

APRESENTAÇÃO

Atuando nesse contexto, em seu propósito básico de capacitar e formar profissionais, a preocupação de aliar aos trabalhos teóricos às atividades de campo sempre foi uma característica da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. Essa abordagem ficou especialmente evidenciada desde o início dos trabalhos com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL em 1988 com a implementação do Curso sobre Estudos de Otimização Energética (COENE), na antiga Escola Federal de Engenharia de Itajubá. A preocupação central dos coordenadores desse curso era complementar os Diagnósticos Energéticos com projetos de otimização energética, buscando contemplar os diversos usos de energia, integrando as várias formas energéticas. Por isso, um dos objetivos desse curso era - e continua sendo - capacitar técnicos na elaboração de estudos específicos e setoriais de racionalização energética, propondo soluções integrais de conservação de energia.

Um diferencial importante desta iniciativa foi o desenvolvimento de trabalhos de campo em estabelecimentos comerciais e industriais da região, onde os participantes do curso puderam colocar em prática os ensinamentos teóricos assistidos nas aulas e nos laboratórios da UNIFEI. Ao final de duas semanas de treinamento, as equipes apresentaram para os professores e representantes das empresas envolvidas nos projetos, os resultados encontrados nos estudos de otimização energética. Durante o desenvolvimento dos trabalhos procurou-se avaliar os aspectos técnicos e práticos de cada caso real assim como as dificuldades naturais de registro de dados, medições realizadas antes e após a implementação das ações de eficiência energética e os resultados obtidos. Em boa medida, o espírito do COENE, de aprender fazendo, está nas páginas desse livro, que apresenta casos reais desenvolvidos por competentes profissionais brasileiros, que ao fazer, ensinam.

Esta obra é mais um fruto dessa longa e profícua parceria iniciada nos anos oitenta entre a UNIFEI e o PROCEL, cuja Secretaria Executiva, desde seu início, é responsabilidade da ELETROBRÁS. O apoio da Eletrobrás e do PROCEL foram fundamentais para viabilizar este atual projeto assim como na implementação do Centro de Excelência em Eficiência Energética – EXCEN, em parceria também com a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG e o Ministério de Minas e Energia - MME. Da ELETROBRÁS sempre recebemos o incentivo de vários colegas e entusiastas da eficiência energética, tanto de sua Diretoria, na pessoa do seu então presidente Dr. Aloisio Marcos Vasconcelos Novais e os atuais executivos, como o Presidente, Dr. Valter Luiz Cardeal de Souza, do Diretor de projetos especiais e desenvolvimento tecnológico e industrial, Dr. João Ruy Castelo Branco de Castro, do chefe do departamento

APRESENTAÇÃO

de planejamento e estudos de conservação de energia, Dr. Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos e os responsáveis das divisões de suporte técnico Dr. Emerson Salvador e Hamilton Pollis.

Tais agradecimentos ficariam incompletos se não registrássemos o efetivo comprometimento dos responsáveis pela coordenação dos projetos na área educacional, por parte do PROCEL, Eng^o Milton Marques, profissional que sempre acreditou no trabalho desenvolvido pelo nosso grupo. É importante também citarmos Renato Pereira Mahler, George Alves Soares, Fernando Pinto Dias Perrone, Vanda Alves dos Santos, Marcos Lima, Edivaldo Carneiro Rodrigues e Fernando Luiz Conde de Figueiredo, profissionais do PROCEL que nos apoiaram e dos quais sempre tivemos imprescindível confiança, apoio e estímulo necessários ao desenvolvimento dos trabalhos em conservação de energia. Por último, mas não menos importante, é importante registrar a colaboração dos responsáveis pelas empresas, sejam gerentes administrativos ou técnicos, na transferência das informações, na atenção e presteza com que nos atenderam.

Essa obra, portanto, é fruto da dedicação e do trabalho coletivo de todos que nos ajudam a conduzir a bandeira da eficiência energética, e que devem considerar-se, com todo direito, seus co-autores.

Afonso Henriques Moreira Santos

Jamil Haddad

Luiz Augusto Horta Nogueira

Itajubá, outubro de 2007

Capítulo 1

GERENCIAMENTO ENERGÉTICO

1.1. INTRODUÇÃO

Entre os vários custos gerenciáveis em uma empresa, seja do setor industrial ou comercial, a energia vem assumindo, cada vez mais, uma importância crescente, motivada pela redução de custos decorrentes do mercado competitivo, pelas incertezas da disponibilidade energética ou por restrições ambientais. De qualquer forma, seja qual for a motivação, promover a eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos da engenharia, da economia e da administração aos sistemas energéticos. Contudo, dado à diversidade e complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir objetivos e ações para melhorar o desempenho energético e reduzir as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia.

O uso eficiente da energia interessa por si mesmo; como de resto são oportunas todas as medidas de redução das perdas e de racionalização técnico-econômica dos fatores de produção, cabendo também observar o caráter estratégico e determinante que o suprimento de eletricidade e combustíveis apresenta em todos os processos produtivos. Ainda que representando uma parcela por vezes reduzida dos custos totais, via de regra a energia não possui outros substitutos senão a própria energia, sem a qual os processos não se desenvolvem.

O responsável técnico pela gestão de energia, além de tornar cada vez mais eficientes as instalações, sistemas e equipamentos deve também, responder a dois desafios: avaliar o montante de energia ou a demanda energética necessária ao atendimento de suas necessidades atuais e futuras, bem como adquirir ou contratar no mercado essa disponibilidade energética. Essa aquisição pode ocorrer em um Ambiente de Contratação Regulado (consumido cativo) – ACR ou Ambiente de Contratação Livre (consumidor livre) – ACL, ou ainda ocorrer totalmente ou parcialmente através da auto-produção de energia elétrica (hidrelétrica ou termelétrica) não esquecendo de incluir, quando possível e viável, o processo de cogeração. Muitas empresas também estão agregando a esse processo de gestão energética a questão

ambiental através, por exemplo, do nível de emissão de carbono decorrente de sua cadeia de produção. Esse processo de gestão envolve, restrições financeiras e disponibilidades de recursos, sejam de pessoal ou materiais, ferramentas e metodologias de análise, além de aspectos tecnológicos e diversas áreas de conhecimento. Métodos e modelos de gestão energética adotados em uma dada unidade empresarial podem e devem ser transportados para um modelo de gestão corporativa da empresa. Cada vez mais, as empresas e seus gestores de energia precisam entender os aspectos legais e regulatórios dos mercados de energia, as tendências e perspectivas energéticas no Brasil e no exterior, além de se preocuparem com eventuais situações de desabastecimento gerado pelo desequilíbrio entre oferta e demanda de energia.

A gestão e a otimização energética passa por uma avaliação permanente de sua matriz energética, estabelecendo estratégias de curto, médio e longo prazos, nos montantes de aquisição de energia elétrica e auto-produção, evitando nesse caso o custo do transporte de energia elétrica, além da forma ou energético mais apropriado ou viável (óleo combustível, gás natural, GLP, lenha, biomassa, etc).

Antes de realizar qualquer atividade é preciso conhecer e diagnosticar a realidade energética, para então estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. Esta abordagem é válida para instalações novas, em caráter preventivo, ou instalações existentes, em caráter corretivo, em empresas industriais ou comerciais.

A gestão energética de uma instalação existente aborda as seguintes medidas:

- 1) Conhecimento das informações relacionadas com os fluxos de energia, as ações que influenciam estes fluxos, os processos e atividades que utilizam a energia e relacionam com um produto ou serviço;
- 2) Acompanhamento dos índices de controle como, por exemplo, consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e os valores médios, contratados, faturados e registrados de energia;
- 3) Atuação nos índices com vista a reduzir o consumo energético através da implementação de ações que buscam a utilização racional de energia.

É importante observar que as avaliações, por si só, não conduzem à racionalização do uso de energia. Elas constituem um primeiro e decisivo passo nesta direção, a requerer medidas e ações posteriores, desejavelmente estabelecidas de forma planejada e estruturada, com clara definição de metas, responsáveis e efetivos acompanhamentos, se possível no âmbito de um Programa de Gestão Energética, com visibilidade na corporação e a necessária provisão de recursos físicos e humanos. Neste sentido, as auditorias energéticas constituem um instrumento essencial

de diagnóstico preliminar e básico, para obter as informações requeridas para a formulação e acompanhamento desse programa de redução de desperdícios de energia.

Considerando uma abordagem bem genérica, a ser adaptada caso a caso, a seqüência apresentada na figura a seguir, pode ser adotada para o desenvolvimento de um diagnóstico energético (Nogueira, 1990).

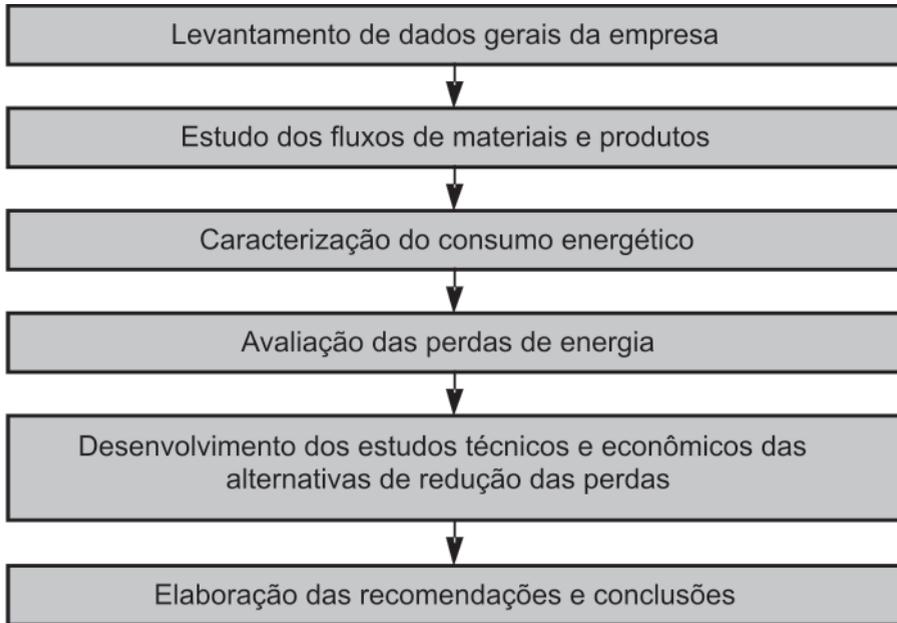


Figura 1.1 - Etapas de um Diagnóstico Energético

Como resultado destas atividades e um produto fundamental do diagnóstico energético, pode ser preparado então o relatório, que é um documento que sintetiza o trabalho de levantamento empreendido e deve apresentar, de forma convincente, as recomendações e conclusões. A seguir apresenta-se um possível conteúdo de um relatório de diagnóstico energético. Entre parênteses indicam-se os temas que tipicamente podem ser abordados em cada tópico.

Observa-se que esta listagem se propõe a separar claramente a avaliação da situação real encontrada (Estudos Energéticos), que retrata o quadro encontrado, dos estudos prospectivos (Análise de Racionalização de Energia), que definem condições a serem atingidas. Estas etapas podem ser efetuadas de forma independente, e, mesmo, por profissionais diferentes, entretanto, esta estrutura não é rígida e poderiam ser apresentadas as sugestões e alternativas para a racionalização dos sistemas elétricos, térmicos e mecânicos na seqüência imediata de sua avaliação.

1.2. RELATÓRIO DO DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

1 - Resumo executivo

2 - Empresa (localização, indicadores, descrição básica dos processos)

3 - Estudos energéticos (diagramas, características, estudo das perdas)

3.1 - Sistemas elétricos

a) Levantamento da carga elétrica instalada

b) Análise das condições de suprimento (qualidade do suprimento, harmônicas, fator de potência, sistema de transformação)

c) Estudo do sistema de distribuição de energia elétrica (desequilíbrios de corrente, variações de tensão, estado das conexões elétricas)

d) Estudo do sistema de iluminação: (iluminância, análise de sistemas de iluminação, condições de manutenção)

e) Estudo de motores elétricos e outros usos finais (estudo dos níveis de carregamento e desempenho, condições de manutenção).

3.2 - Sistemas térmicos e mecânicos

a) Estudo do sistema de ar condicionado e exaustão (sistema frigorífico, níveis de temperatura medidos e de projeto, distribuição de ar)

b) Estudo do sistema de geração e distribuição de vapor (desempenho da caldeira, perdas térmicas, condições de manutenção e isolamento)

c) Estudo do sistema de bombeamento e tratamento de água

d) Estudo do sistema de compressão e distribuição de ar comprimido

3.3 - Balanços energéticos

4 - Análise de racionalização de energia (estudos técnico-econômicos das alterações operacionais e de projeto, como por exemplo, da viabilidade econômica da implantação de sistemas de alto rendimento para acionamento e iluminação, viabilidade econômica da implantação de sensores de presença associados a sistemas de iluminação, análise do uso de iluminação natural, análise de sistemas com uso de termoacumulação para ar condicionado, viabilidade econômica da implantação de controladores de velocidade de motores, análise da implantação de sistemas de cogeração)

5 - Diagramas de Sankey atual e prospectivos

6 - Recomendações

7 - Conclusões

8 – Anexos (figuras, esquemas, tabelas de dados)

Os diagramas de Sankey, mencionados nesta lista de tópicos, são uma forma gráfica de representar os fluxos energéticos na empresa, desde sua entrada até os usos finais, caracterizando as diversas transformações intermediárias e as perdas associadas. Os fluxos são representados por faixas, cuja largura corresponde à sua magnitude em unidades energéticas. A execução destes diagramas para a situação base e para as alternativas propostas permite evidenciar que, com as medidas de racionalização energética, o nível de atendimento das demandas de energia útil se mantém e pode até mesmo melhorar, sendo as reduções de consumo de vetores energéticos decorrente do menor nível das perdas de energia. A figura a seguir mostra um exemplo deste tipo de diagrama, onde, para uma potência de entrada de 100 kW, as perdas existentes no transformador, cabos de distribuição e no motor somam 52 kW, resultando para um efeito útil, uma potência de 48 kW no motor.

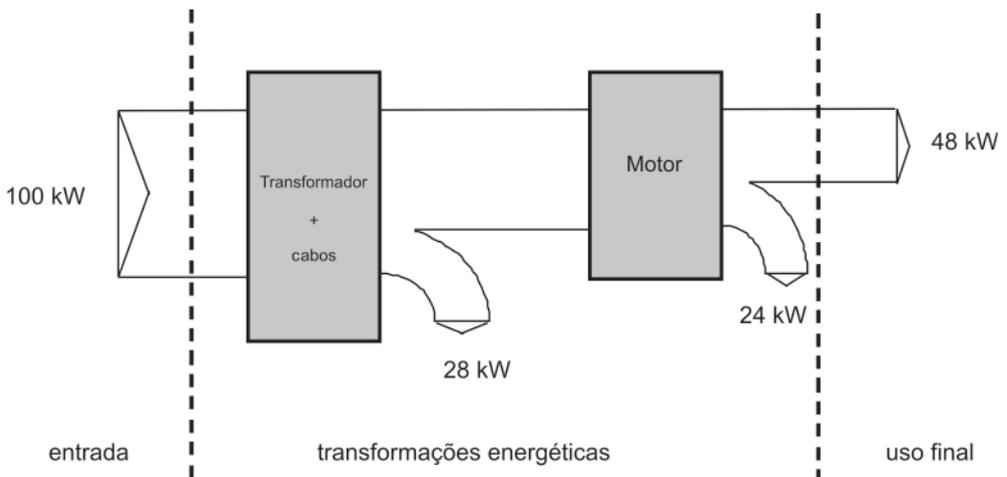


Figura 1.2 - Exemplo de Diagrama de Sankey

1.3. COMISSÃO INTERNA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

A constituição de uma Comissão Interna de Conservação de Energia – CICE é um componente importante na implementação de programas de eficiência energética tendo como objetivo propor, implementar e acompanhar medidas efetivas de utilização racional de energia, bem como controlar e divulgar as informações mais relevantes (Rocha, 2005).

A CICE poderá ser composta de representantes do empregador e dos empregados, seu dimensionamento dependerá do porte da empresa, deverá abranger atividades administrativas, técnicas e de comunicação. Assim, sugere-se que ela possua pelo menos três integrantes, sendo um o coordenador. Em empresas de maior porte, cada setor/área deve ter um participante na CICE.

A CICE deverá possuir um plano de trabalho contendo objetivos, metas, cronograma de execução e estratégia de ação. A elaboração do plano de trabalho se faz necessária, visto que a CICE deve ser uma comissão pró-ativa.

São atribuições da CICE:

- 1) Realizar ou contratar um Diagnóstico Energético para conhecer o desempenho energético das instalações, que permita verificar as condições de operação dos diferentes equipamentos.
- 2) Controlar e acompanhar o faturamento de energia, desagregar em seus parâmetros (consumo; demanda; fatores de carga e de potência), elaborar gráficos e relatórios gerenciais visando subsidiar a tomada de decisões.
- 3) Avaliar o cumprimento das metas fixadas no plano de trabalho e discutir as situações de desperdício de energia. Promover análise das potencialidades de redução do consumo específico de energia elétrica e demanda.
- 4) Propor medidas de Gestão de Energia Elétrica. Do diagnóstico e da análise do custo de energia elétrica, resultam medidas corretivas a serem tomadas que podem ser implantadas em função de um cronograma de ações, programadas pela CICE.
- 5) Realizar periodicamente, inspeções nas instalações e nos procedimentos das tarefas, visando identificar situações de desperdício de energia.
- 6) Conscientizar e motivar os empregados, através da divulgação de informações relativas ao uso racional de energia e os resultados alcançados, em função das metas estabelecidas. A comunicação poderá ser realizada através de informativos internos, folhetos, cartazes, slogans, adesivos, palestras, concursos, visitas, mensagens eletrônicas, etc.

7) Participar de aquisições que envolvam consumo de energia, orientando as comissões de licitação para a aquisição de equipamentos, considerando-se também a economicidade do uso, avaliado pelo cálculo do custo-benefício ao longo da vida útil e não somente pela comparação do investimento inicial.

Designar agentes ou coordenadores para atividades específicas relativas à conservação de energia.

Com as atribuições citadas anteriormente, a CICE poderá empreender as seguintes ações:

- 1) Controlar o consumo específico de energia total, por setores e/ou sistemas;
- 2) Controlar o custo específico de energia total, por setores e/ou sistemas;
- 3) Gerenciar a demanda total, por setores e/ou sistemas;
- 4) Articular-se com os órgãos governamentais e outros responsáveis pelos programas de conservação de energia, com vistas à obtenção de orientação e ao fornecimento de informações;
- 5) Providenciar cursos específicos para o treinamento e capacitação do pessoal;
- 6) Promover alterações nos sistemas consumidores de energia visando adequar seu consumo;
- 7) Avaliar anualmente os resultados e propor novas metas para o ano subsequente.

Com a implementação da CICE, observa-se nos casos apresentados mais adiante, que a empresa Toshiba, fabricante de transformadores elétricos, obteve uma redução de 3,5% no consumo específico para produzir os transformadores, e a empresa de produtos automotivos Continental, conseguiu uma redução de 4,2% no consumo específico. Observe-se que o gerenciamento de energia poderá resultar em ganhos energéticos para a empresa, normalmente obtidos através de medidas de baixo custo financeiro.

A implementação de medidas estanques, não coordenadas e não integradas a uma visão global de toda instalação ou carente de uma avaliação de custo/benefício pode não produzir os resultados esperados e minar a credibilidade do programa, dificultando a continuidade do processo junto à direção e aos ocupantes da edificação. Por isso, o conhecimento de como a energia elétrica é consumida na instalação, o acompanhamento do custo e o consumo de energia elétrica por produto/serviço produzido, mantendo um registro cuidadoso, é de grande importância para a execução do diagnóstico. Estas informações podem ser extraídas da Nota Fiscal/Conta de energia elétrica.

Esses dados poderão fornecer informações preciosas sobre a contratação correta da energia e seu uso adequado, bem como a análise de seu desempenho, subsidiando tomadas de decisões visando à redução dos custos operacionais.

A seguir são apresentados alguns conceitos importantes relacionados com a questão tarifária:

- 1) Energia Ativa - É a energia capaz de produzir trabalho; a unidade de medida usada é o quilowatt-hora (kWh).
- 2) Energia Reativa – É a energia solicitada por alguns equipamentos elétricos, necessária à manutenção dos fluxos magnéticos e que não produz trabalho; a unidade de medida usada é o quilovar-hora (kVAh).
- 3) Potência - É a quantidade de energia solicitada na unidade de tempo; a unidade usada é o quilowatt (kW).
- 4) Demanda - É a potência média, medida por aparelho integrador durante qualquer intervalo de 15 (quinze) minutos.
- 5) Demanda Contratada - Demanda a ser obrigatória e continuamente colocada à disposição do consumidor, por parte da concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixado em contrato.
- 6) Carga Instalada - Soma da potência de todos os aparelhos, que estejam em condições de funcionamento, instalados nas dependências da unidade consumidora.
- 7) Fator de Carga - Relação entre a demanda média e a demanda máxima ocorrida no período de tempo definido.
- 8) Fator de Potência (FP) - Obtido da relação entre energia ativa e reativa horária, a partir de leituras dos respectivos aparelhos de medição.
- 9) Tarifa de Demanda - Valor em reais do kW de demanda, em um determinado segmento Horo-Sazonal.
- 10) Tarifa de Consumo - Valor em reais do kWh ou MWh de energia utilizada, em um determinado segmento Horo-Sazonal.
- 11) Tarifa de Ultrapassagem - Tarifa a ser aplicada ao valor de demanda registrada que superar o valor da demanda contratada, respeitada a tolerância.
- 12) Horário de Ponta (HP) - Período definido pela concessionária e composto por três horas consecutivas, exceção feita aos sábados e domingos, terça-feira de Carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, dia de Finados e os demais feriados definidos por lei federal (01/01, 21/04, 01/05, 07/09, 12/10, 15/11 e 25/12). Neste horário a energia elétrica é mais cara.

13) Horário Fora de Ponta (HFP) - São as horas complementares às três horas consecutivas que compõem o horário de ponta, acrescidas da totalidade das horas dos sábados e domingos e dos 11(once) feriados indicados anteriormente. Neste horário a energia elétrica é mais barata.

14) Período Seco (S) - É o período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro de cada ano.

15) Período Úmido (U) - É o período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

16) Segmentos Horo-Sazonais são formados pela composição dos períodos úmido e seco com os horários de ponta e fora de ponta. A Tarifa Azul possui tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia. A Tarifa Verde apresenta valores diferenciados de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, e uma única tarifa de demanda de potência.

As Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica são estabelecidas pela Resolução ANEEL nº 456/2000. Neste documento, as unidades consumidoras são divididas em grupos, distinguindo-se uns dos outros pelo nível de tensão de fornecimento, apresentando cada um deles, valores definidos de tarifa. Este nível de tensão está relacionado com a carga instalada na unidade consumidora. Competirá à concessionária estabelecer e informar ao interessado a tensão de fornecimento para a unidade consumidora, com observância dos seguintes limites:

1. Tensão secundária de distribuição: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;
2. Tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda contratada ou estimada pelo interessado, para o fornecimento, for igual ou inferior a 2.500 kW;
3. Tensão primária de distribuição igual ou superior a 69 kV: quando a demanda contratada ou estimada pelo interessado, para o fornecimento, for superior a 2.500 kW.

Para fins de faturamento, as unidades consumidoras são agrupadas em dois grupos tarifários, definidos, principalmente, em função da tensão de fornecimento e também, como consequência, em função da demanda. Se a concessionária fornece energia em tensão inferior a 2300 Volts, o consumidor é classificado como sendo do "Grupo B" (baixa tensão); se a tensão de fornecimento for maior ou igual a 2300 Volts, será o consumidor do "Grupo A" (alta tensão). Estes grupos foram assim definidos:

Grupo A: Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste Grupo, em caráter opcional, nos termos definidos na Resolução ANEEL nº 456/2000, caracterizado pela estruturação tarifária binômia e subdividido nos subgrupos A1, A2, A3, A3a, A4 e AS. A tabela seguinte apresenta estes subgrupos.

Tabela 1.1 - Tensão de Fornecimento – Grupo A

Subgrupo	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo

Grupo B: Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão superior a 2,3 kV e faturadas neste Grupo, nos termos definidos na Resolução ANEEL nº 456/2000, caracterizado pela estruturação tarifária monômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- 1) Subgrupo B1 - residencial;
- 2) Subgrupo B1 - residencial baixa renda;
- 3) Subgrupo B2 - rural;
- 4) Subgrupo B2 - cooperativa de eletrificação rural;
- 5) Subgrupo B2 - serviço público de irrigação;
- 6) Subgrupo B3 - demais classes;
- 7) Subgrupo B4 - iluminação pública.

A análise da demanda tem por objetivo a sua adequação às reais necessidades da unidade consumidora, onde são analisadas as demandas de potência contratada, medidas e as efetivamente faturadas. A premissa básica é a de se procurar reduzir ou mesmo eliminar as ociosidades e ultrapassagens de demanda.

Deve-se considerar a possibilidade de reduções nas demandas contratadas em função de alterações nos principais sistemas consumidores, com a redução das cargas instaladas e a introdução de controles automatizados para a modulação ótima da carga. Para assegurar mínimas despesas mensais com a Fatura de Energia Elétrica, é fundamental a escolha dos valores para as demandas a serem contratadas junto à concessionária, que devem ser adequados às reais necessidades da empresa. Esse procedimento deve ser observado tanto quando se faz a opção pela estrutura tarifária, como na renovação periódica do contrato.

Dessa forma, se as demandas contratadas não forem aquelas realmente necessárias e suficientes para cada segmento horário, haverá um aumento desnecessário dos custos com energia elétrica. O super ou subdimensionamento das demandas contratadas, geram aumentos de custos que podem e devem ser evitados. O exemplo apresentado adiante, da empresa Continental de produtos automobilísticos, mostra os ganhos possíveis num estudo de adequação tarifária, onde se obteve uma redução de 28,6% na demanda de ponta e 10,2% no consumo no horário de ponta.

Outro ponto importante é que, uma vez fixado os valores de contrato, deve-se supervisionar e controlar o consumo de energia de forma a evitar que algum procedimento inadequado venha a provocar uma elevação desnecessária da demanda. Para as empresas, onde a demanda registrada varia muito ao longo do tempo, pode ser conveniente a instalação de um sistema automático de supervisão e controle da demanda.

As mudanças ocorridas com o Fator de Potência tiveram início na Portaria DNAEE nº 1569, de 23/12/1993 e, atualmente, estão consolidadas na Resolução ANEEL nº 456/2000. A resolução fixa o fator de potência de referência "fr", indutivo ou capacitivo, em 0,92, o limite mínimo permitido para as instalações elétricas das unidades consumidoras. Para as unidades consumidoras do Grupo A, a medição do FP será obrigatória e permanente, enquanto que para aquelas do Grupo B, a medição será facultativa.

A energia reativa capacitiva passa ser medida e faturada. Sua medição será feita no período entre 23 h e 30 min e 6 h e 30 min e a medição da energia reativa indutiva passa a ser limitada ao período diário complementar.

O faturamento correspondente ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência reativas excedentes, pode ser feito de duas formas distintas:

- 1) Por avaliação horária: através de valores de energia ativa e reativa medidas de hora em hora durante o ciclo de faturamento, obedecendo aos períodos para verificação das energias reativas indutiva e capacitiva.

2) Por avaliação mensal: através de valores de energia ativa e reativa medidas durante o ciclo de faturamento.

A correção do fator de potência é realizada através da instalação de bancos de capacitores. O exemplo apresentado adiante, da empresa têxtil Cifa, mostra que o investimento de R\$42.000,00, utilizados para a aquisição de um banco de capacitores e um controlador de demanda para comandar os capacitores, foi recuperado em menos de um ano.

O programa de gestão energética é constituído de três ações, tendo a CICE como sua gestora: Diagnóstico Energético, Controle dos Índices e Comunicação do Programa e seus resultados.

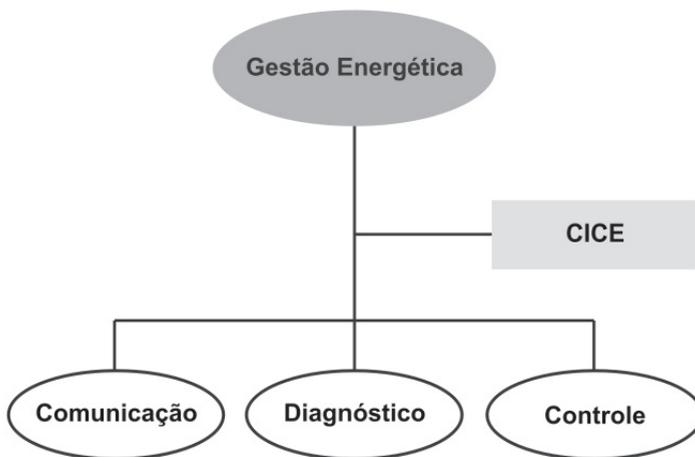


Figura 1.3 - Constituição do programa de gestão energética

Todas as atividades desenvolvidas no programa de gestão energética estão enquadradas em um destes pilares. Muitas destas atividades devem ser desenvolvidas simultaneamente, não existindo um mais importante que outro.

Finalmente, a implantação de um programa de gestão energética necessita de mudanças de procedimentos, de hábitos e de rotinas de trabalho, que, muitas vezes, encontram dificuldades devido à resistência das pessoas. Desta forma, é importante a participação de todos os funcionários da empresa, ou seja, a direção superior, o pessoal técnico e administrativo na busca da utilização racional de energia.

A seguir são apresentados casos práticos de empresas que obtiveram uma redução nos custos energéticos, implementando atividades de gestão energética.

1.4. CASO 1: CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA NA CIFA TÊXTIL

1.4.1. Características da empresa

O caso apresentado relata a ação de gerenciamento energético relacionada à correção do fator de potência implementada pela Cifa Têxtil Ltda, uma empresa do ramo da indústria têxtil localizada em Amparo / SP. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa Horó-sazonal Azul do sub-grupo A4 com demandas contratadas nos horários de ponta e fora de ponta iguais a 670 kW.

1.4.2. Apresentação e objetivos

A realização de um diagnóstico energético através da consultoria de uma ESCO (Ecoluz S.A.) possibilitou avaliar com profundidade o custo da energia elétrica.

A conta de energia elétrica emitida pela concessionária para os consumidores da estrutura tarifária horó-sazonal ou da estrutura tarifária convencional de alta tensão, permitiu que fossem observados problemas com baixo fator de potência. O Faturamento de Demanda Reativa (FDR) ou o Faturamento de Energia Reativa (FER), que podem ocorrer simultaneamente ou não, são indicativos de gastos provocados pelo baixo fator de potência.

Outros indicativos de custos extras com energia elétrica observados na conta de energia elétrica foram provenientes de ultrapassagem de demanda ou de ociosidade de demanda contratada. A redução destes custos dependeu de uma avaliação histórica da sazonalidade da carga e muitas vezes de ações gerenciais sobre o processo produtivo, garantindo assim, com menor risco, que os limites de demanda não fossem ultrapassados.

Tendo conhecimento que o consumidor apresentou o problema de baixo fator de potência, custando mensalmente a quantia de R\$5.000,00 a mais sobre o custo da energia efetivamente consumida, decidiu-se que seria feito um investimento na instalação de bancos de capacitores para corrigir o fator de potência.

1.4.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

Para atender as condições de fornecimento de energia elétrica, no que se refere ao fator de potência, uma instalação deve ter no mínimo o fator de potência igual a 0,92 indutivo no período das 6 às 24 horas, e 0,92 capacitivo no período das 24 às 6 horas, conforme estabelecido na Resolução da ANEEL nº 456/2000.

Sendo assim, foi necessário conhecer a curva de carga de potência ativa e reativa durante o período de faturamento mensal, para a realização dos cálculos dos fatores de potência médios horários para compensação.

Estes dados foram obtidos através da instalação de analisadores de energia elétrica, posicionados em um ponto equivalente ao medidor da concessionária. Estes dados também podem ser obtidos através da solicitação junto à concessionária, da memória de massa do medidor com o pagamento da correspondente taxa do serviço.

Se o consumidor não tem planos recentes de ampliação ou redução de carga, ou se não apresenta um processo com forte sazonalidade, é possível determinar uma curva de carga típica, como dados de referência para o cálculo do banco de capacitores, de forma que o problema seja corrigido em sua totalidade ou quase totalidade durante o ano.

A metodologia de realização do estudo para correção do fator de potência, ocorreu de acordo com as seguintes etapas:

- Identificação do problema
- Quantificação dos custos excedentes
- Obtenção da curva de carga ativa e reativa através de medição
- Cálculo do fator de potência horário
- Cálculo da potência reativa capacitiva
- Definição e especificação do banco de capacitores
- Compra e contratação de serviço para instalação
- Instalação
- Acompanhamento dos resultados com nova medição ou pela fatura de energia

Para determinar a potência reativa do banco de capacitores, é importante considerar as variações da solicitação de reativos ao sistema, buscando, na medida do possível, usar mais os bancos de capacitores fixos ao invés dos automáticos (que dependem de um circuito de automação com medição instantânea), contadores auxiliares e cabos de comunicação e comando, sendo por sua vez mais caros. No entanto, é importante desligar os bancos quando os equipamentos consumidores de reativos estiverem desligados, para evitar excedente de capacitivo nos horários da madrugada.

Na tabela a seguir, observa-se registros de medição de energia e demandas reativas excedentes, antes da instalação do banco de capacitores.

Tabela 1.2 - Histórico das contas de energia elétrica antes da implementação

DATA	Consumo Ativo (kWh)		Demanda Registrada (kW)		UFER		UFDR		Dias
	HP	HFP	HP	HFP	HP	HFP	HPa	HFP	
LEITURA ATUAL									
26/1/2004	29.922	232.540	614	638	2.648	20.200	0	17	33
25/2/2004	35.514	275.620	644	650	3.261	18.360	13	31	30
24/3/2004	30.946	245.460	634	673	2.515	17.100	3	29	28
26/4/2004	35.938	281.600	702	685	3.144	23.000	36	57	33
24/5/2004	35.312	270.880	670	703	3.129	19.080	81	47	28
24/6/2004	38.747	324.800	710	725	3.552	21.320	53	51	31
14/7/2004	23.188	196.660	685	686	1.907	12.760	31	45	20
13/8/2004	35.250	304.800	680	716	1.619	12.260	58	58	30
Média Antes	33.102	266.545	667	685	2.722	18.010	34	42	29

A empresa possui duas cabines de distribuição onde estão instalados os seus transformadores. Sendo assim, a medição que reflete o que a concessionária está medindo no ponto de entrada do fornecimento de energia, deve ser igual à soma da potência medida nos transformadores destas cabines. Na primeira cabine existem dois transformadores e na segunda cabine três transformadores, conforme apresentado no diagrama unifilar a seguir.

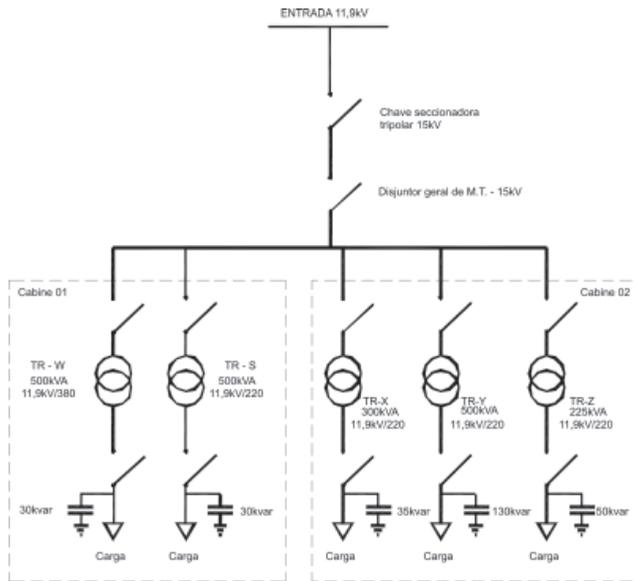


Figura 1.4 - Diagrama unifilar

Como podem ser observados na Tabela 1.2, os bancos de capacitores instalados foram insuficientes para manter o fator de potência acima de 0,92. Isto devido às ampliações na carga elétrica com circuitos que consomem muita energia reativa.

A soma das medições simultâneas de cada transformador possibilitou levantar a seguinte curva de carga típica de operação: a potência ativa medida ficou em torno de 435 kW e a potência reativa em 223 kVAr, correspondendo a um fator de potência de 0,89 indutivo, abaixo do valor de referência, conforme apresentado na figura a seguir.

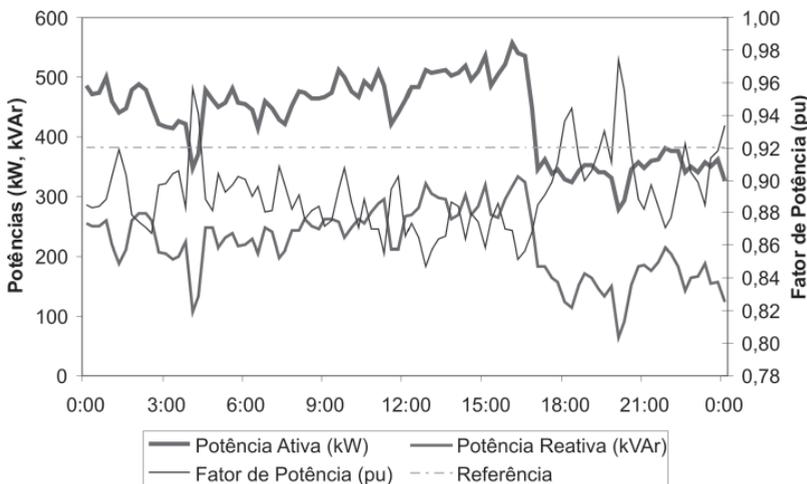


Figura 1.5 - Curva típica com baixo fator de potência

A figura a seguir apresenta os valores de energia reativa consumidos durante os meses de janeiro a agosto de 2004, nos horários de ponta e fora de ponta.

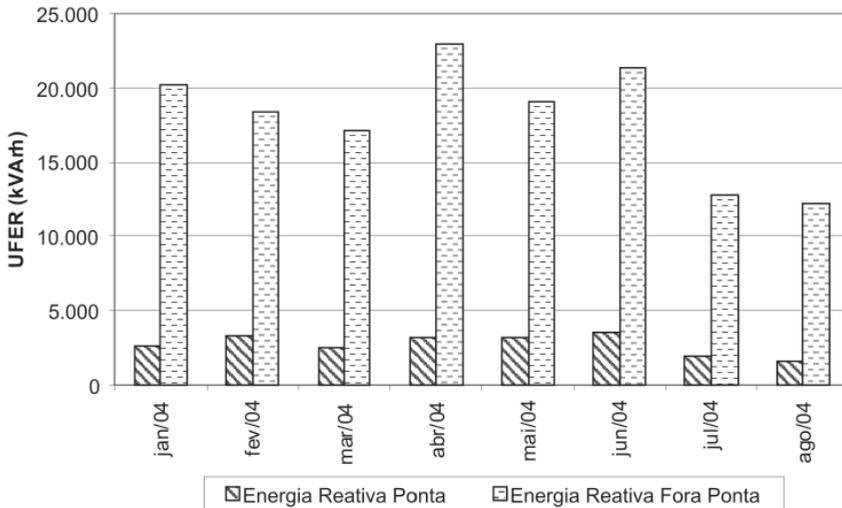


Figura 1.6 - Energia Reativa Faturada até agosto de 2004

A energia reativa faturada foi na média de 20.732 kVArh que, multiplicada pela tarifa correspondente representa um faturamento extra de R\$5.000,00 mensais.

Com base nestas informações pôde-se calcular a potência reativa capacitiva necessária para elevar o fator de potência acima de 0,92.

Prevendo futuras ampliações, foi definido que o fator de potência mínimo deverá ser de 0,94. A partir disso, calculou-se que seriam necessários 70 kVAr na cabine 01 na tensão de 380 V e mais 120 kVAr na cabine 02 na tensão de 220 V.

O funcionamento do banco de capacitores automático foi realizado através da monitoração do fator de potência global pelo gerenciador de energia. O monitoramento foi feito através dos pulsos de potências ativa e reativa enviados pelo medidor ao gerenciador. Assim, deu-se o acionamento dos estágios do banco de capacitores, conforme a solicitação de compensação das cargas acionadas. Se o resultado estivesse diferente da referência adotada no controlador, esses estágios de capacitores seriam adicionados ou retirados.

1.4.4. Detalhes da implementação

A instalação de bancos de capacitores para correção do fator de potência pode ser feita de diferentes maneiras, dependendo da lógica de funcionamento dos

equipamentos. Neste caso, optou-se por tomar os dados de medição da concessionária ao invés de fazer a medição através de transformadores de potencial (TPs) e de transformadores de corrente (TCs), pois os equipamentos eram de baixa tensão.

Para instalar estes equipamentos alguns aspectos foram considerados:

- O local da cabine de medição da concessionária
- O local onde será instalado o banco de capacitores
- O local onde será instalado o gerenciador e seus controladores
- O local onde será instalado o software de monitoramento

Com base nestas informações, foi definida a quantidade de materiais elétricos necessários para a instalação de banco de capacitores e a necessidade dos serviços complementares para passagem de cabos elétricos e de comunicação.



Figura 1.7 - Instalação do banco de capacitores e módulo do gerenciador

Foram montados dois painéis, um na tensão de 220 V e outro de 380 V com os circuitos de acionamento automático dos módulos.

1.4.5. Prazos e custos

Para a implementação do banco de capacitores, foi necessário realizar um trabalho de consultoria durante uma semana, com estudos e medições, definindo assim a potência reativa necessária.

Definida a configuração do banco de capacitores, foi realizada a compra do equipamento que teve um prazo de entrega totalizado em 20 dias corridos, demandando a montagem do banco com contatores, chaves e cabos de ligação. A montagem no painel e a ligação dos cabos de comando foram feitas no local, somando-se mais uma semana de instalação.

Os equipamentos necessários para a instalação consistiram em um controlador de demanda, para comando dos capacitores e o banco de capacitores, com seus respectivos módulos e acionamentos.

O investimento total realizado foi de R\$ 42.000,00, resultando um tempo de retorno simples, de aproximadamente 8 meses.

1.4.6. Resultados e benefícios alcançados

O acompanhamento das faturas de energia elétrica permitiu comparar os registros de energia e demanda reativas medidas antes e depois da instalação do banco de capacitores. O consumo de excedente de reativos diminuiu de 20.000 para 2.500 UFER e de 50 para zero UFDR.

Vale ressaltar que a instalação apresentou uma potência remanescente capacitiva nos finais de semana, durante o horário capacitivo, devido a um banco de capacitores fixo instalado em outra área da fábrica. Como foi inviável colocá-lo junto na automação ou desligá-lo totalmente, aumentando assim a potência do novo banco automático, optou-se por manter o sistema operando desta maneira. Por isso, como pode ser visto no acompanhamento dos resultados, no mês de janeiro de 2005 começou haver novamente, registro de energia reativa excedente numa média de 4.000 UFER.

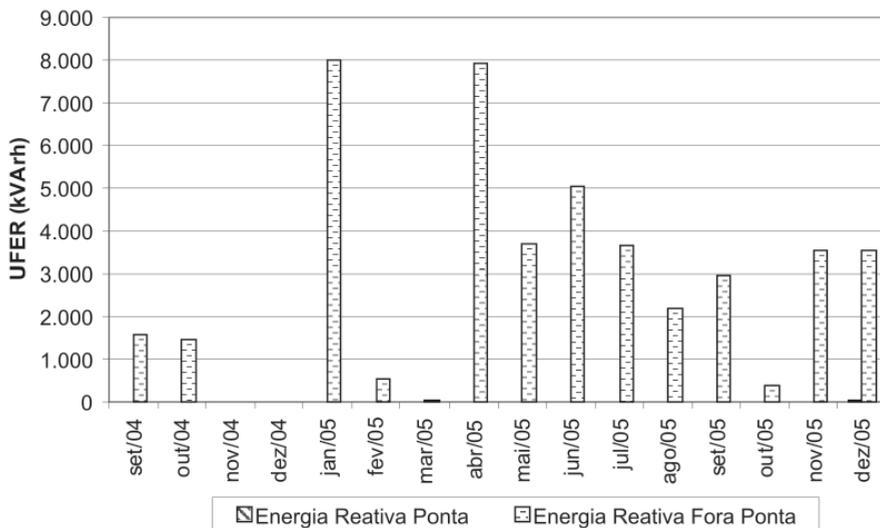


Figura 1.8 - Energia Reativa registrada após a implementação

Fazendo o mesmo acompanhamento, verificou-se que a demanda reativa cessou por completo.

A tabela a seguir apresenta os valores obtidos após a instalação do banco de capacitores.

Tabela 1.3 - Histórico das contas de energia elétrica após da implementação

DATA	Consumo Ativo (kWh)		Demanda Registrada (kW)		UFER		UFDR		Dias
	HP	HFP	HP	HFP	HP	HFP	HP	HFP	
LEITURA ATUAL									
15/9/2004	34.424	313.300	654	668	0	1.580	0	0	33
15/10/2004	33.205	300.600	654	712	0	1.480	0	0	30
12/11/2004	26.191	291.440	576	651	0	0	0	0	28
14/12/2004	30.788	349.340	605	677	0	0	0	0	32
13/1/2005	28.144	250.460	584	646	0	7.980	0	0	30
14/2/2005	31.414	333.600	612	674	0	560	0	0	32
14/3/2005	29.874	304.580	617	682	0	40	0	0	28
13/4/2005	31.648	286.400	625	681	0	7.920	0	0	30
12/5/2005	28.506	279.820	570	657	0	3.700	0	0	29
14/6/2005	30.346	310.500	555	662	0	5.020	0	0	33
14/7/2005	30.379	280.860	583	646	0	3.660	0	0	30
15/8/2005	33.086	306.080	631	682	0	2.200	0	0	32
14/9/2005	31.673	287.100	634	680	0	2.960	0	0	30
14/10/2005	35.555	325.040	631	705	0	380	0	0	30
16/11/2005	31.222	303.180	644	719	0	3.520	0	0	33
14/12/2005	32.491	277.700	656	701	53	3.520	0	0	28
Média Após	31.184	300.000	614	678	3	2.783	0	0	31

O valor médio registrado foi de 2.786 UFER mensais, correspondendo a uma fatura remanescente de R\$385,00.

Com o objetivo de verificar os resultados da instalação dos equipamentos, foi realizada uma medição do fator de potência durante um dia típico de produção na indústria.

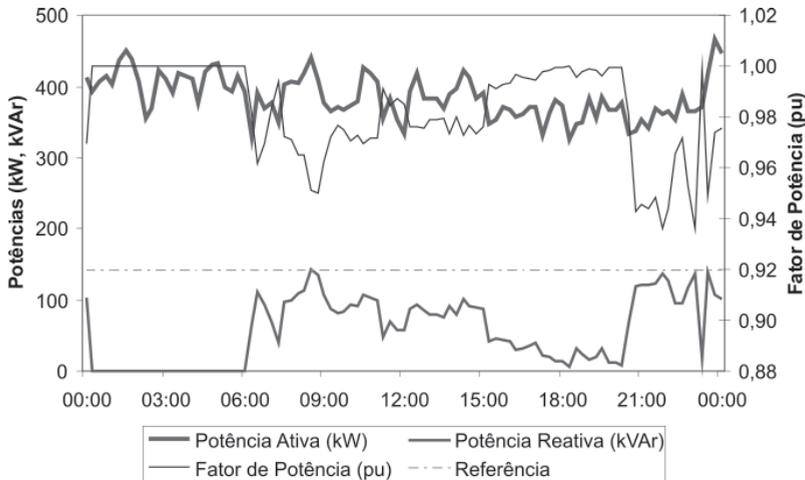


Figura 1.9 - Medição realizada em outubro de 2005

Verificou-se através da medição que, após a instalação dos bancos de capacitores, o fator de potência médio foi de 0,98, um pouco acima do previsto inicialmente, podendo diminuir o valor de referência para poupar os capacitores até uma ampliação das cargas.

1.5. CASO 2: EFICIENTIZAÇÃO PREDIAL NO EDIFÍCIO LINNEO DE PAULA MACHADO

1.5.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de gerenciamento energético relacionadas à modernização de elevadores e dos sistemas de iluminação e de ar condicionado implementadas pelo Edifício Linneo de Paula Machado, uma empresa do ramo de administração predial localizada na cidade do Rio de Janeiro / RJ. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Verde do sub-grupo AS com demanda contratada igual a 1.900 kW.

1.5.2. Apresentação e objetivos

O Edifício Linneo de Paula Machado - ELPM, está localizado no centro da cidade do Rio de Janeiro. Possui frentes para as Avenidas Rio Branco e Heitor de Mello, está situado no centro financeiro econômico e comercial e abriga sede de grandes empresas nacionais e internacionais.

O Edifício é composto de uma torre com 34 pavimentos de escritórios, onde 14 elevadores atendem de forma seletiva quatro conjuntos de pavimentos. O sistema de ar condicionado é do tipo central com chillers do tipo centrífugo refrigerado a água.

Uma característica específica deste edifício é a automação predial, responsável pelo controle dos elevadores, pela segurança interna, sistemas de ar condicionado, iluminação, incêndio, abastecimento e pressurização de água, uma vez que o condomínio não possui caixa d'água para abastecimento na cobertura, sendo servido pelas cisternas que distribuem diretamente a água nos andares, segundo quatro zonas distintas de faixa de pressão, e também, para segurança interna.



Figura 1.10 - Fachadas laterais do Edifício

Os condôminos têm acesso ao sistema supervisorio pela internet, de onde podem acompanhar as variáveis de controle do ar condicionado como: temperatura, número de máquinas operando e também às câmaras de vídeo instaladas nos elevadores ou pavimentos.

1.5.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

Os projetos de Eficiência Energética implementados no ELPM foram iniciados em abril de 2001, motivados pela ocasião da crise energética.

A primeira atuação foi no sistema de iluminação, baseado na mudança tecnológica de lâmpadas, reatores e luminárias. A partir daí passou-se a usar lâmpadas fluorescentes de trifósforo de menor potência com reatores eletrônicos e luminárias com película reflexiva.

A escolha do projeto seguinte procurou aumentar a eficiência e também beneficiar o usuário do condomínio trazendo maior conforto. Desta forma, foram substituídos 13 elevadores por outros mais modernos.

Outro projeto que foi baseado em substituição tecnológica e aspectos ambientais, foi o projeto da substituição das centrais de água gelada do sistema de ar condicionado, sendo que duas máquinas centrífugas foram substituídas em parceria com a Light, através dos Programas de Eficiência Energética determinados pela ANEEL, e outras três máquinas foram substituídas com recursos próprios.

Na busca de novos projetos para aumentar a eficiência do Edifício, foi realizado um projeto piloto para aproveitar a energia térmica do ar de exaustão do edifício para resfriar o ar de admissão por um sistema de resfriamento evaporativo indireto.

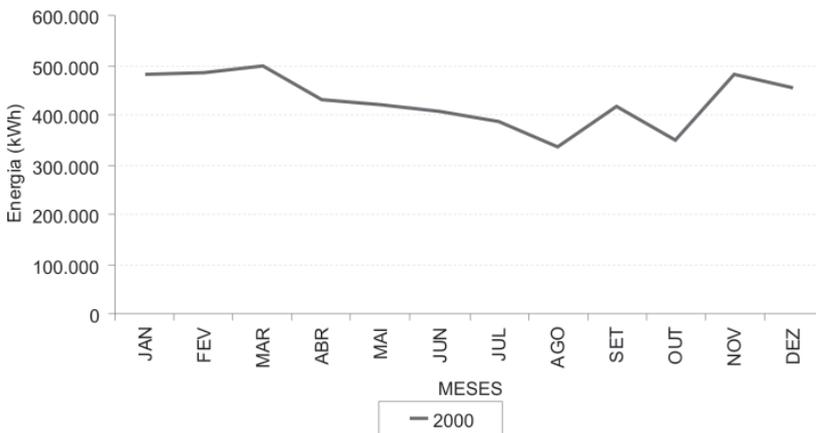


Figura 1.11 - Consumos mensais de 2000

O gerenciamento energético do condomínio do edifício, ou seja, de toda a área comum aos condôminos, engloba dois medidores do sistema de ar condicionado e três medidores de serviço. No ano 2000 o consumo médio variou em torno de 428.400 kWh mensais, conforme apresentado na figura anterior, com demanda média de 1830 kW.

1.5.4. Detalhes da implementação

O sistema de iluminação existente antes de 2001 era composto predominantemente por luminárias de 2 lâmpadas de 40 W e 2 lâmpadas de 20 W, com reatores eletromagnéticos e luminárias não reflexivas. Os modelos propostos foram de luminárias de 2 lâmpadas de 32 W e 2 lâmpadas de 16 W, usando reatores eletrônicos e luminárias com refletor de alumínio de alto brilho. Para evitar o custo da modificação do forro existente, algumas luminárias foram criadas especialmente sobre medida para se adequarem ao vão existente. As figuras a seguir apresentam as luminárias existentes e as propostas.



Figura 1.12 - Modelos das luminárias

Na modernização dos elevadores foram substituídas 13 máquinas, onde as anteriores eram de fabricação Atlas no modelo Mark IV, controladas por relés, e as novas de fabricação Atlas Schindler no modelo Miconic 10, controladas por microprocessadores, inversores de frequência e chamada programada.

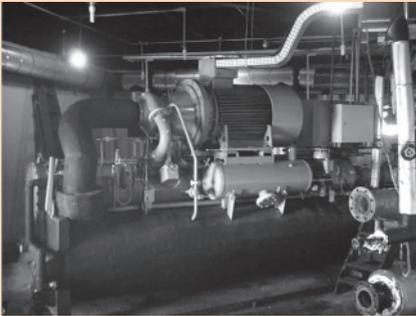
A aplicação dos inversores de frequência em elevadores justifica-se pela variação de carga de passageiros no uso diário, de forma que a variação da carga controla a variação da tração dos motores.

O sistema de ar condicionado original do edifício é do ano de 1970 e possui duas centrais de água gelada, uma no piso intermediário com três compressores e outra no piso superior com dois compressores. Esses equipamentos são do tipo centrífugo da

marca Sulzer, modelo Unitop 216 de 350 TR, o qual utilizava como fluido refrigerante o gás R-12, que é um hidrocarboneto halogenado de cloro, flúor e carbono (CFC).

Como os CFC são os principais responsáveis pela destruição da camada de ozônio, foi estabelecida, através de uma resolução do CONAMA em 2000, uma meta de redução gradativa do uso destes compostos, de forma que até 2007 toda a utilização fosse substituída por outro composto. A importância do fator ambiental para substituir o R12 é um fator relevante que reforça o quesito de consumo de energia.

Os novos compressores utilizados também são do tipo centrífugo, da marca York, modelo YK de 350 TR, que utiliza como fluido refrigerante o R134a. Este tipo de equipamento apresenta uma vantagem de variação da capacidade térmica pela variação da velocidade que utiliza um sistema de controle, que mantém máxima eficiência de compressão. A seguir são apresentadas as características do sistema de refrigeração.



Grupo Gerador de Água Gelada Tipo Unitop 216 Fabricação Sulzer.

Características:

- Unitop Tipo 1125 – U / 216
- Diâmetro do Rotor 207/190
- Ano de Fabricação 1978
- Agente Refrigerante – R - 12
- RPM 17324
- Capacidade Frigorífica – 350 TR
- Tensão 380 Volts



Resfriador Centrífugo de Líquido Millennium Tipo YK VSD Fabricação York.

Características:

- Chiller Centrífugo York YK –VSD
- Modelo:YK AD AC P4 – CLF
- Agente Refrigerante R - 134A
- Tensão 460 Volts
- Capacidade Frigorífica - 350 TR

Figura 1.13 - Modelos dos compressores

O projeto de substituição destes equipamentos contou com a utilização de recursos da concessionária Light para a troca dos compressores do piso superior. No piso intermediário, a substituição foi realizada com recursos próprios.

A utilização de controladores programáveis (CLPs), também permitiu que ações de gerenciamento energético sobre os sistema de iluminação, ventilação e

elevadores, fossem acompanhadas através de acionamentos controlados e programados conforme as horas do dia e a presença de usuários nos pavimentos do edifício. A monitoração através de câmeras de vídeo possibilitou a manutenção da segurança. O sistema supervisor das centrais de água gelada e os canais de vídeo estão disponibilizados como um serviço de acompanhamento aos condôminos através da internet.



Figura 1.14 - CLPs utilizados na monitoração e atuação

A necessidade de renovação do ar interno nos ambientes de trabalho, para manutenção dos índices de CO₂ adequados à saúde, obriga que haja uma renovação do ar interno com o insuflamento do ar obtido na atmosfera. Essa renovação contínua de ar quente (entre 15 a 20 % do volume de ar interno, por hora) impõe uma carga mínima de trabalho às máquinas de refrigeração, para resfriar o ar que está sendo continuamente insuflado.

Ao mesmo tempo, para ocorrer a renovação do ar interno, joga-se na atmosfera a energia térmica contida no ar de exaustão que, além de seco, possui temperatura mais baixa, desperdiçando assim, a refrigeração que nele foi produzida.

Considerando as características do sistema de ar condicionado, foi estudada uma forma de fazer o aproveitamento da energia térmica do ar de exaustão recolhido nos banheiros do edifício, que está a 24°C com baixa umidade, para resfriar o ar que será insuflado na renovação do ar ambiente, que entra a 28°C. Desta forma, houve uma redução de parte da carga térmica produzida pelos equipamentos de refrigeração.

Para conseguir este aproveitamento térmico, foi utilizado um equipamento de resfriamento evaporativo baseado nas características psicrométricas do ar de exaustão. O equipamento em questão é uma patente nacional, que utiliza o nome comercial de Recuperador de Calor (RC), pela tradução literal de "heat recovery", mas, a rigor, funciona como um recuperador de energia térmica, e no ELPM atua como recuperador de frio.

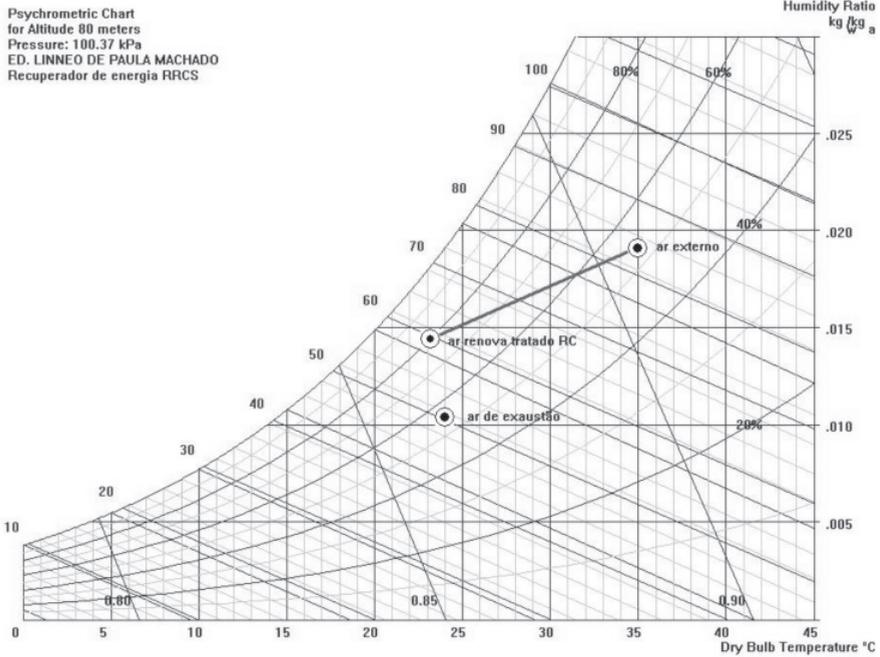


Figura 1.15 - Carta psicrométrica do sistema em operação

CONDIÇÕES DE CÁLCULO	Ar externo 13/07/2007 TBS: 35,00°C TBU: 26,70°C UR: 52,86% UA: 19,08 g/kg ENTALPIA: 83,92 kJ/kg	ENERGIA REMOVIDA Qs (calor sensível): 176.955 W Ql (calor latente): 170.505 W Qt (calor total): 347.460 W = 1.185.583 BTU = 98,80 TR
	Ar de exaustão TBS: 24,00°C TBU: 17,81°C UR: 55,00% UA: 10,39 g/kg ENTALPIA: 50,43 kJ/kg	
	Ar externo de renovação tratado pelo Recuperador Térmico TBS: 23,21°C TBU: 20,63°C UR: 79,62% UA: 14,43 g/kg ENTALPIA: 59,90 kJ/kg	

O equipamento conserva a energia térmica do ar de exaustão, operando com trocadores de calor tipo Ar - Ar que não mistura os fluxos de ar. Sensores eletrônicos com medições simultâneas de temperatura e umidade, antes e após o equilíbrio térmico entre os fluxos de exaustão e insuflamento, possibilita quantificar em TRs, através de software de carta psicrométrica, a energia conservada e aproveitada que antes era desperdiçada.



Figura 1.16 - Sistema evaporativo

A operação deste sistema faz com que o ar de exaustão que está a 24°C com umidade relativa de 54%, se resfrie até 18°C com umidade relativa de 91%. Ao mesmo tempo o ar externo de renovação que no verão tem temperatura média igual a 35°C, se resfria até 23°C, reduzindo a carga térmica de até 98 TR. Apesar da diferença de temperatura chegar a aproximadamente 12°C, a vazão de ar (que deve ser no mínimo de 27 m³/h/pessoa segundo a ANVISA) é da ordem de 45.000 m³/h no Pavimento Mecânico Médio.

1.5.5. Prazos e custos

Os projetos tiveram início no ano 2001 com os estudos de alteração do sistema de iluminação e tal substituição se concretizou entre junho e setembro do mesmo ano.

A substituição e modernização dos 13 elevadores ocorreram entre março de 2001 e novembro de 2003. A primeira máquina a ser substituída foi do elevador número 35846, carro E, e a última foi do elevador número 35846, carro cargueiro.

O sistema de ar condicionado teve os chillers antigos substituídos por novos, do tipo centrífugo, que foram instalados entre janeiro de 2005 e fevereiro de 2007, totalizando cinco máquinas.

A troca de parte das máquinas do ar condicionado foi feita com recursos do Programa Light / Aneel de Eficiência Energética, no qual as máquinas serão pagas

com o comprometimento de 80 % da economia propiciada em um prazo estimado de 44 meses.

1.5.6. Resultados e benefícios alcançados

O resultado das medidas de eficiência energética implementadas no ELPM, pode ser acompanhado pela evolução do consumo histórico de energia elétrica mensal, a partir de janeiro de 2001.

Considerando o período de racionamento ocorrido no ano 2001, é interessante notar que no final de 2005 os mesmos níveis de consumo foram alcançados com medidas de efficientização. Pode-se dizer que em 2006, a operação do Edifício foi feita com 56,54 % da energia que era necessária no ano de 2000, conforme apresentado na figura a seguir. Comparando o ano 2006 com o ano do racionamento, utilizou-se aproximadamente 30% a menos de energia.

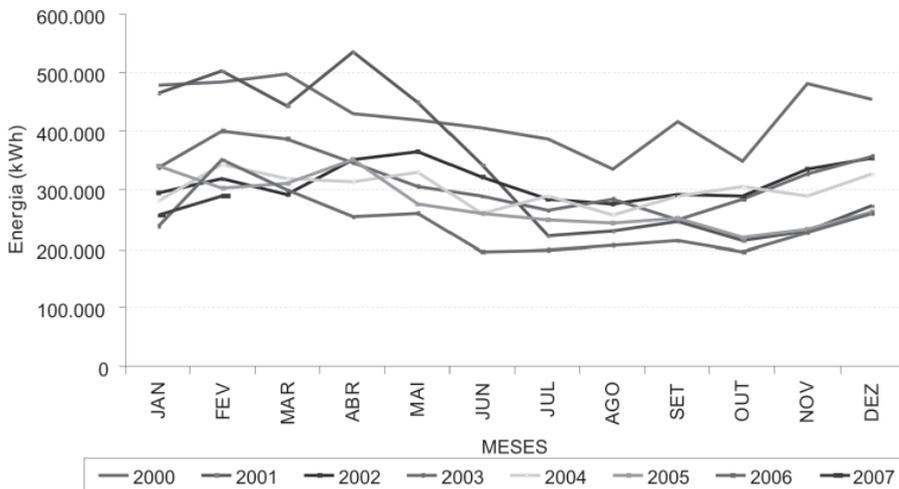


Figura 1.17 - Consumos mensais antes e após as medidas

Considerando o custo médio de R\$ 0,51/kWh registrado nas últimas contas de energia elétrica, pode-se dizer que a economia de energia em 2006 correspondeu a uma redução de custo de R\$ 1,14 milhão, quando comparado com o consumo registrado no ano de 2000. Para o mesmo custo médio da energia, a economia acumulada de janeiro de 2001 até janeiro 2007 foi de aproximadamente R\$ 7 milhões.

Uma comparação dos resultados do ponto de vista do consumo energético específico, indica ter havido, do ano 2000 para o de 2006, uma mudança de 87,34 kWh/m².ano para 49,38 kWh/m².ano, representando uma redução de 43% no consumo específico do ELPM.

1.6. CASO 3: CAMPANHA DE CONSCIENTIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA NA TOSHIBA

1.6.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de gerenciamento energético relacionadas à Campanha de conscientização do uso da energia e as atividades implementadas pela Toshiba do Brasil S.A., uma empresa do ramo de indústria de transformadores elétricos localizada na cidade de Contagem / MG. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A4 com demandas contratadas iguais a 1.500 kW no horário fora de ponta e a 1.050 kW no horário de ponta.

1.6.2. Apresentação e objetivos

A indústria Toshiba realizou em agosto de 2000 um projeto de eficiência energética, intitulado “Campanha de conscientização para o uso Eficiente de Energia Elétrica”, indo de encontro com a política ambiental implantada da ISO14001 e os princípios da política ambiental da empresa, na qual deve ser promovida a redução do consumo de energia e matérias-primas.

Para realização do projeto foram definidos três objetivos básicos, sendo eles: o uso eficiente de energia elétrica, a preparação dos funcionários para serem multiplicadores da mudança de hábito e a otimização do consumo de energia.

As tabelas a seguir mostram o histórico de consumo de energia e de produção por tipo de transformador, de março a julho de 2000, para transmitir uma idéia da situação anterior às medidas de eficiência energética.

Tabela 1.4 - Histórico de contas antes da implementação

DATA LEITURA	Consumo Ativo (kWh)		Demanda Registrada (kW)		Dias
	HP	HFP	HP	HFP	
10/3/2000	54.600	505.400	1.050	1.484	30
12/4/2000	47.600	460.600	1.050	1.428	33
10/5/2000	42.763	424.350	1.036	1.386	28
12/6/2000	49.000	463.400	1.050	1.428	33
10/7/2000	47.288	467.012	1.148	1.316	28
Média antes	48.250	464.152	1.067	1.408	30

O consumo mensal médio para este período foi de 512.403 kWh e a produção média de transformadores de linha foi de 1.114 unidades.

A variável quantidade de energia elétrica depende de outras variáveis do processo produtivo, como por exemplo, a quantidade produzida por tipo de transformador, a potência do transformador e a tensão de isolamento. Por isso não é recomendado analisar esta variável isoladamente para interpretar os resultados do projeto. Assim, o acompanhamento de índices de consumo específico relacionando esta energia com a produção, torna mais fácil esta tarefa.

Tabela 1.5 - Histórico de produção por tipo de transformador

Mês	Linha Unid.	Força Unid.	Semi-linha Unid.	Regulador Unid.
10/3/2000	1.510	2	0	93
12/4/2000	403	8	0	45
10/5/2000	1.162	5	2	84
12/6/2000	1.223	7	1	160
10/7/2000	1.273	7	0	134
Média antes	1.114	6	1	103

Dividindo o consumo de energia total pelo tempo total trabalhado, obteve-se o consumo específico médio de 8,2 kWh/H trab, que reflete o uso da energia. Este índice foi utilizado na empresa para gerenciar o uso da energia e a tabela a seguir apresenta os valores antes da implantação do projeto.

Tabela 1.6 - Consumos específicos antes da implementação

DATA LEITURA	Consumo Total (kWh)	Produção Total		H trab.	Consumo Específico kWh/H trab.
		Unid.	kVA		
10/3/2000	560.000	1.605	93.594	61.447	9,1
12/4/2000	508.200	456	143.751	48.466	10,5
10/5/2000	467.113	1.253	133.414	64.260	7,3
12/6/2000	512.400	1.391	257.325	73.271	7,0
10/7/2000	514.300	1.414	260.540	73.523	7,0
Média antes	512.403	1.224	177.725	64.193	8,2

1.6.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A metodologia adotada para implantação da campanha de conscientização para o uso eficiente de energia elétrica teve as seguintes etapas:

- Estruturação de uma equipe multidisciplinar com apoio da superintendência da fábrica
- Realização de parcerias com empresas de energia e fabricantes de equipamentos
- Criação de material de divulgação da campanha
- Realização de uma cerimônia de abertura com a presença das empresas parceiras e mobilização de 30% dos funcionários
- Elaboração de um cronograma de palestras
- Lançamento do concurso “Sua conta é por nossa conta”
- Identificação de ações técnicas sobre o processo e sobre os hábitos de consumo que levem à economia de energia
- Organização de uma matriz com ações, responsáveis, locais, prazos, forma, justificativas, custos e receitas
- Divulgação através do canal interno de TV
- Instalação de um medidor de energia individual no setor

Considerando o aspecto motivacional e social, procurou-se estender o programa de conservação de energia para as residências dos funcionários da Toshiba. Desta forma foi organizado o concurso “Sua conta é por nossa conta”.

O regulamento do concurso juntamente com a premiação proposta está na tabela seguinte.

Tabela 1.7 - Regulamento do concurso

Regulamento do concurso sua conta é por nossa conta

Agora ficou mais fácil ganhar!!! O Concurso sua conta é por nossa conta passou de 3 para 27 premiados. Serão seis sorteados para três faturas de energia pagas pelo 5S Toshiba e 21 viagens a Furnas. PARTICIPEM!!!

1. Porcentagem de redução do consumo de energia: 10%
2. Número de sorteados: Ao todo 27 serão sorteados
3. Período de avaliação e período de premiação: O participante inscrito que reduzir 10% da sua conta de energia durante três meses e for um dos 6 primeiros sorteados, terá as contas dos meses de Janeiro, Fevereiro e Março pagas pelo programa 5S. Os meses de Setembro, Outubro e Novembro serão os meses que os participantes já inscritos terão que reduzir seu consumo. Para os que se inscreverem agora, serão avaliados os meses de Outubro, Novembro e Dezembro.

06 contas de energia pagas pelo 5S durante três meses

21 visitas à Hidrelétrica de Furnas em Passos

Para o sorteio, a fábrica será dividida em cinco partes para melhor distribuição dos prêmios: Produção Mecânica: 2 contas e 6 viagens, Produção Elétrica: 2 contas e 6 viagens, Técnica e Qualidade: 1 conta e 5 viagens, Administrativo: 1 conta e 4 viagens.

4. Média de referência: Os meses de referência serão os meses de agosto de 99 até julho de 2000 (12 meses). Mas não se preocupe em trazer todas as suas faturas de julho do ano passado até agosto deste ano. Traga apenas a de agosto, pois nela consta seu consumo dos últimos 12 meses. Ex. Somando todo o seu consumo de energia, em kWh, de agosto de 99 até julho de 2000 e dividindo o resultado por doze, você encontrará a média de referência que deverá ser diminuída no mínimo em 10% durante os meses que você estiver participando do concurso.

5. Compromisso em manter o consumo reduzido: Os seis sorteados terão que assumir o compromisso de manter seu consumo reduzido no mínimo em 10% nos meses em que o 5S estiver pagando suas faturas. Caso contrário haverá uma substituição que premiará o 7º participante, sorteado paralelamente aos seis primeiros premiados.

6. Novos benefícios do Concurso: "DE OLHO NO SEU CONSUMO": Se você estiver interessado em fazer uma análise sobre seu consumo e avaliar se o seu gasto é considerado alto, razoável ou baixo, solicite uma ficha de análise e a preencha enumerando todos os aparelhos domésticos que possui em casa, assim como suas respectivas potências. Se o seu consumo for excessivo, você receberá um aconselhamento de como reverter o problema. Os interessados procurar responsável da Manutenção.

1.6.4. Detalhes da implementação

A Toshiba organizou uma Comissão Interna de Conservação de Energia – CICE, constituindo assim uma equipe multidisciplinar composta por técnicos de manutenção, engenheiros e pessoas de comunicação interna, e área de gestão de programas - IAGP, coordenado pela equipe do Programa 5S, composta por cerca de 60 funcionários, com apoio da superintendência da fábrica.

A campanha para conscientização foi dividida em um plano de ação humana e um plano de ação técnico.

No Plano de ação humana buscou-se a parceria com a concessionária de energia elétrica, uma usina geradora interligada ao sistema elétrico nacional e dois fabricantes de ferramentas pneumáticas. Ainda no plano de ação, foram oferecidos treinamentos aos funcionários por meio de palestras e cursos, totalizando 782 horas de treinamento para 735 funcionários. Entre os assuntos abordados nos cursos estiveram: conservação de energia, cuidados e técnicas no trabalho com eletricidade e desperdícios com vazamentos de ar comprimido.

No Plano de ação técnico foi estipulado um cronograma de modificações sobre diversos usos finais de energia elétrica, como modificações tecnológicas sobre o sistema de iluminação, o acionamento de motores e os fornos.

No sistema de iluminação foram substituídas lâmpadas mistas de 500W por luminárias com lâmpadas fluorescentes de 32W. Para promover um maior aproveitamento da luz natural também foram instaladas telhas translúcidas no galpão PM.

A tabela a seguir apresenta o plano de ação com as medidas tomadas.

Tabela 1.8 - Plano de ação das medidas de eficiência

O que	Onde	Quando	Como
Material de divulgação da campanha	Toda a fábrica	Agosto de 2000	
Cerimônia de abertura	Mobilizar 30% dos funcionários da fábrica no estacionamento interno próximo da portaria nova	11 de agosto de 2000	Pronunciamento da diretoria e convidados da Cemig e Furnas
Palestras	Toda a fábrica	14 a 16 de agosto de 2000	Ministrando palestras em conservação de energia
Palestra Segurança com eletricidade	Toda a fábrica	SIPAT	Ministrando palestras sobre a NR10
Substituição de lâmpadas mistas por luminárias fluorescentes	Sala de usinagem isolamento	30 de setembro de 2000	Troca de equipamentos (mista de 500 W por fluorescente de 32 W)
Treinamento de apoio	Manutenção VPD, Portaria, Pintura, Adservice	Agosto de 2000	Mobilizando pessoal de turno ininterrupto
Concurso sua conta é por nossa conta	Toda a fábrica	Outubro, novembro e dezembro de 2000	Divulgando, treinando e participação dos funcionários
Identificação de pontos de desperdícios com iluminação	Produção	Dezembro de 2000	Em conjunto com os supervisores levantar pontos
Palestra sobre desperdícios com vazamentos de ar comprimido	Produção	5 de Outubro de 2000	Instruir os funcionários quanto aos vazamentos de ar comprimido
Pesquisa de opinião	Toda a fábrica	Janeiro de 2001	Avaliar o nível de conhecimento da campanha
Minimizar desperdícios com ar comprimido	Toda a fábrica	Novembro de dezembro de 2000	Reduzir período de funcionamento dos compressores

1.6.5. Prazos e custos

Complementando o plano de ações foram previstas as receitas que poderiam ser obtidas. Embora a maioria delas não tenha resultados mensuráveis, por refletir sobre o comportamento das pessoas, a conscientização sobre o uso eficiente da energia é importante para a imagem da empresa e para ter apoio e colaboração das pessoas no que depende da mudança de comportamento.

Com um investimento de quase R\$ 15 mil apresentados na tabela a seguir, foram produzidos materiais de divulgação, realizados eventos e treinamentos de pessoal, além da implementação da substituição de um sistema de iluminação e a realização de uma grande manutenção sobre a utilização do sistema de ar comprimido, eliminando vazamentos e o desperdício de energia.

Tabela 1.9 - Investimentos e receitas previstas no plano de ação

O que	Quando	Quanto (R\$)	Receita mensal (R\$)
Material de divulgação da campanha	Agosto de 2000	4.692,91	Não mensurável
Cerimônia de abertura	11 de agosto de 2000	501,00	Não mensurável
Palestras	14 a 16 de agosto de 2000	6.282,00	Não mensurável
Palestra Segurança com eletricidade	SIPAT	ND	Não mensurável
Substituição de lâmpadas mistas por luminárias fluorescentes	30 de setembro de 2000	80,00	71,67
Treinamento de apoio	Agosto	168,00	Não mensurável
Concurso sua conta é por nossa conta	Outubro, novembro e dezembro de 2000	1883,00	Não mensurável
Identificação de pontos de desperdícios com iluminação	Dezembro de 2000	300,00	Não mensurável
Palestra sobre desperdícios com vazamentos de ar comprimido	05 de Outubro de 2000	207,00	Não mensurável
Pesquisa de opinião	Janeiro de 2001	105,00	Não mensurável
Minimizar desperdícios com ar comprimido	Novembro de dezembro de 2000	300,00	1733,00

1.6.6. Resultados e benefícios alcançados

O concurso “Sua conta é por nossa conta” permitiu medir indiretamente o efeito da conscientização das pessoas pela redução do consumo de energia elétrica em suas casas. O acompanhamento dos consumos mostrou que em um período de três meses foram economizados 600 kWh de energia elétrica nas residências.

A substituição do forno de recozimento elétrico por gás natural também trouxe uma redução significativa no custo do processo de recozimento dos núcleos de ferro silício, reduzindo o ciclo de 48 horas para 21 horas, o que permitiu que o volume de produção fosse dobrado para 12.000 kg.

Entre as principais ações mostradas, verificou-se uma economia de R\$1.700,00 mensais na eliminação de vazamentos no sistema de ar comprimido.

Tabela 1.10 - Histórico de consumo após a implementação

DATA LEITURA	Consumo Ativo (kWh)		Demanda Registrada (kW)		Dias
	Na Ponta	Fora Ponta	Na Ponta	Fora Ponta	
10/8/2000	57.400	544.600	1.106	1.554	31
11/9/2000	57.400	550.200	1.134	1.512	32
10/10/2000	50.400	515.200	1.064	1.512	29
10/11/2000	51.800	523.600	1.064	1.554	31
11/12/2000	47.600	532.000	1.050	1.526	31
10/1/2001	43.400	424.200	1.260	1.652	30
12/2/2001	54.600	569.800	1.078	1.456	33
Média após	51.800	522.800	1.108	1.538	31

O consumo médio mensal após a implementação foi de 574.600 kWh e o consumo médio antes da implementação das medidas era de 512.403 kWh. No entanto, a produção de transformadores foi maior na maioria dos tipos de transformador.

Tabela 1.11 - Histórico de produção por tipo de transformador

Mês	Linha Unid.	Força Unid.	Semi-linha Unid.	Regulador Unid.
10/8/2000	1.508	9	0	146
11/9/2000	1.431	6	0	152
10/10/2000	1.279	7	1	134
10/11/2000	857	7	7	107
11/12/2000	1.164	6	6	83
10/1/2001	1.325	10	8	63
12/2/2001	749	10	10	36
Média após	1.188	8	5	103

Observando o consumo específico, verificou-se que a nova média é de 7,9 kWh/H trab., representando uma redução de aproximadamente 3,5% no índice.

Tabela 1.12 - Consumos específicos antes da implementação

DATA LEITURA	Consumo Total (kWh)	Produção Total		H trab.	Consumo Específico kWh/H trab.
		Unid.	kVA		
10/8/2000	602.000	1.663	327.779	84.905	7,1
11/9/2000	607.600	1.589	397.418	73.522	8,3
10/10/2000	565.600	1.421	155.254	72.373	7,8
10/11/2000	575.400	978	255.578	76.993	7,5
11/12/2000	579.600	1.259	295.236	59.524	9,7
10/1/2001	467.600	1.406	269.621	79.677	5,9
12/2/2001	624.400	805	306.024	69.730	9,0
Média após	574.600	1.303	286.701	73.818	7,9

No entanto, pelas observações técnicas e experiência da equipe de produção, considerou-se que houve uma redução de aproximadamente 2,5% na eficiência do uso da energia elétrica além de outros ganhos indiretos obtidos com a campanha de conscientização das pessoas.

1.7. CASO 4: PARÂMETROS PARA FORMAÇÃO DA CICE NA CONTINENTAL

1.7.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de gerenciamento energético relacionadas à formação de uma CICE e suas atividades na Continental do Brasil Produtos Automotivos Ltda., uma empresa do ramo da indústria automotiva localizada em Várzea Paulista / SP. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A2 com demandas contratadas iguais a 10.300 kW no horário fora de ponta e no horário de ponta.

1.7.2. Apresentação e objetivos

Este caso de implantação da CICE apresenta um histórico de 16 anos de atividades, iniciadas em 1990 pela iniciativa de um grupo de funcionários da engenharia industrial.

Com a aprovação e participação da diretoria administrativa e financeira o grupo foi formado por 11 pessoas ocupando as seguintes funções dentro da fábrica: coordenador da CICE, presidente da planta, gerente de manufatura, coordenador de segurança do trabalho, coordenador de fundição, coordenador do setor de borracha, líder dos fornos de indução, coordenador de usinagem, coordenador de investimentos e edificações, líder do setor de compras e coordenador de montagem de freios.

Dada a importância do gerenciamento energético e de utilidades, foi definida que a duração da comissão da CICE teria prazo indeterminado, no intuito de perpetuar uma política energética na empresa.



Figura 1.18 - Visão aérea da planta industrial

Para ter um funcionamento organizado, a CICE definiu alguns parâmetros para sua formação e operação. Entre estes parâmetros estão os mostrados abaixo.

- Duração da CICE: prazo indeterminado
- Substituição de membros: quando necessária
- Criação de sub-comissão: para casos especiais
- Atuação normal da comissão: uso racional de energia
- Missão de cada membro: educar pessoal das áreas
- Atuação nos custos: sugerir melhores alternativas
- Matriz energética: sobre todos os insumos e utilidades
- Planejamento: definir metas diárias e mensais
- Monitoramento: Demanda e consumo de energia elétrica, consumo de água e ar comprimido e o consumo de gases combustíveis

O objetivo determinado pela CICE desde o início foi o monitoramento do consumo energético, visto que sua matriz energética era composta por energia elétrica, e na época GLP, substituído pelo GN, como também sobre o uso de utilidades como água e ar comprimido.

O gás acetileno também passou a ser monitorado na planta, embora o uso não tenha a finalidade de combustível, e sim de desmoldante.

A tabela a seguir apresenta as principais ações da CICE.

Tabela 1.13 - Principais ações implantadas pela CICE

1990	Criação da CICE e início dos monitoramentos
1992	Palestras educativas sobre o uso racional de energia elétrica
1996	Implantação do “Projeto + Freios – Força”
2001	Metas do Racionamento
2003	Substituição do GLP por GN
2004	Eliminar o gargalo da produção no horário de ponta, com o uso de energia elétrica especial

1.7.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

Estabelecido o foco da conservação de energia, foram traçadas metas de trabalho e atuação da CICE. Inicialmente antes de ser tomada qualquer medida, foi importante iniciar um levantamento detalhado sobre o consumo de energia de cada área, buscando conhecer quais eram os principais consumidores de cada insumo utilizado.

A prática mostra que a busca de parcerias com a concessionária e fabricantes de equipamentos era freqüente.

O cronograma de atividades planejou treinamento para os funcionários da planta e a implantação de pequenos projetos em equipamentos. Como ferramenta de gerenciamento motivacional foi adotada uma política de criatividade contínua de racionalização.

Também foram dadas palestras sobre energia elétrica para o pessoal administrativo e para os horistas mais envolvidos.

Os assuntos que foram abordados nas palestras são:

- O impacto do custo da energia elétrica no produto final
- Potência instalada na planta

- Potencial de economia de energia elétrica
- Conscientização sobre o uso racional da energia
- Estrutura tarifária horo-sazonal
- Impacto da operação no horário de ponta

1.7.4. Detalhes da implementação

Em 1996 com a implantação do “Projeto + Freios – Força” foi inicialmente realizado uma reavaliação do uso de energia por setor na planta industrial, seguido de uma etapa de monitoração do fator de potência.

No ano de 2001, durante o período do racionamento de energia elétrica, foram impostas metas de consumo aos consumidores, sendo que no setor industrial teve que reduzir o consumo em 20%. Desta forma foram criados pela CICE, gráficos de acompanhamento do consumo mensal em função da meta estipulada para monitoração. Verificou-se que esta ferramenta de gerenciamento auxiliou na tomada de medidas de racionamento, como por exemplo, desligar todo sistema de ar condicionado de “conforto” levando a um resultado de consumo inferior à meta imposta.

Da mesma forma que foi realizada o acompanhamento do consumo mensal comparando com metas, foi elaborada uma planilha para acompanhar o consumo diário em função da meta de consumo acumulado. Nota-se que no mês de Novembro, como mostrado a seguir, o consumo realizado ficou bem abaixo da meta estipulada, sem prejuízo para a produção.

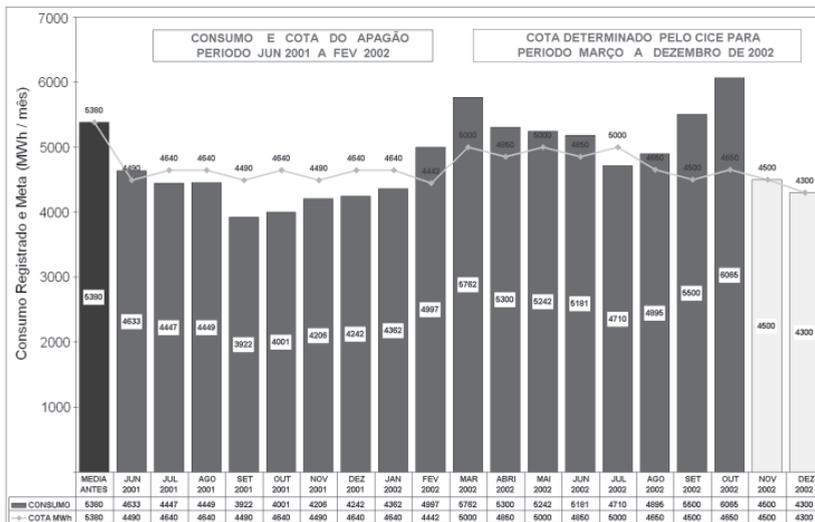


Figura 1.19 - Gerenciamento do consumo no período do racionamento

Em fevereiro de 2002, a meta mensal estipulada foi ultrapassada e devido ao crédito que foi concedido pelo consumo abaixo da meta nos meses anteriores, e também por causa da recuperação de produção, não foi necessária a compra de energia através de leilões.

No ano de 2003 foi feita a substituição do GLP pelo GN para utilização no tratamento térmico, em restaurante e outras áreas menores, sendo que o tratamento térmico é responsável por 80% desse consumo, equivalente a 89.000 Nm³ por mês em 2005. Nota-se também que houve um aumento da demanda de GN de 2004 para 2005 de cerca de 45%.

Neste mesmo ano procurou-se eliminar o gargalo de produção existente na planta durante o horário de ponta. A contratação de uma demanda suplementar para aumento de produção neste horário, foi a forma encontrada para solucionar esta questão de produção com uma redução da despesa com energia elétrica. O gráfico abaixo mostra como ficou o comportamento do consumo antes e após a recontração da demanda em novembro de 2003.

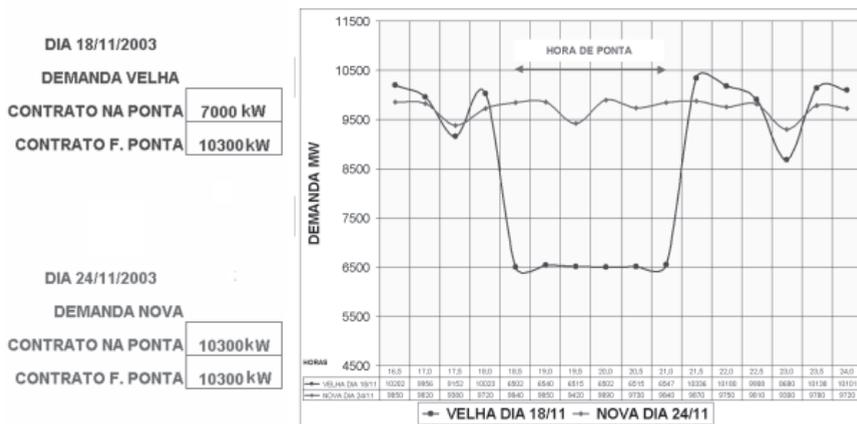


Figura 1.20 - Modificação da operação no horário de ponta

A redução da produção da área de fundição no horário de ponta retirou o forno do seu regime de funcionamento, provocando uma instabilidade e perda de produto. Como as outras áreas têm um ciclo mais rápido isto representou um gargalo para a produção da planta.

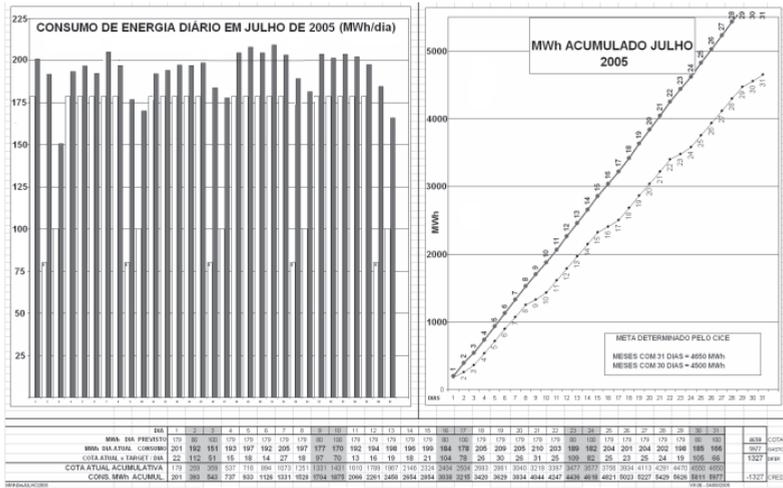


Figura 1.21 - Gerenciamento do consumo diário em 2005

O gráfico acima mostra o acompanhamento do consumo diário de energia elétrica em 2005, e dá uma idéia da continuidade das ações da CICE. Gráficos deste tipo permitem a divulgação dos resultados parciais durante o mês, orientando principalmente se estão dentro dos limites estipulados para o mês.

1.7.5. Prazos e custos

A CICE foi criada no ano de 1990 e desde então vem atuando na redução do custo energético global da planta através da monitoração do consumo específico. Conforme apresentado, a CICE tem um prazo indeterminado para atuação, suas ações são estabelecidas conforme as necessidades da planta e há uma busca constante pela redução do consumo e aumento de produtividade.

Tabela 1.14 - Principais investimentos em projetos de eficiência energética

1992 / 93	Palestras educativas sobre o uso racional de energia elétrica para 600 pessoas	19.600,00
1993	Substituição de dois Controladores de demanda	26.000,00
1996 / 97	Instalação de bancos de capacitores em 13,2 kV	98.000,00
2001 / 02	Substituição de motores standard por alto rendimento, substituição de lâmpadas, instalação de um painel sinalizador indicando demanda instantânea para os fornos da fundição	5.000,00
2003	Substituição do GLP por GN	
TOTAL		148.600,00

1.7.6. Resultados e benefícios alcançados

A redução do consumo de energia durante o período do racionamento foi obtida através de metas de consumo. O grau de dificuldade encontrado para atingir a meta estipulada foi relativo ao desperdício ou eficiência no uso da energia elétrica. O impacto inicial foi uma freada na produção, o que foi compensado com o aumento de produtividade, ganho de eficiência e de certa forma, compra de energia excedente.

No entanto, como foi colocado pela indústria, o período do racionamento foi um desafio colocado e teve como resultado um bom gerenciamento da CICE atingindo as metas estipuladas.

A implantação do “Projeto + freios – força” alcançou os seguintes resultados:

- Reduziu o custo médio da energia de 46,010 US\$ para 42,017 US\$
- Ajustou o fator de potência de 87,6% para 96,3%
- Reduziu a demanda na ponta em 28,6%
- Reduziu o consumo na ponta em 10,2 %
- Reduziu o consumo específico em 4,2%
- Reduziu o custo com energia elétrica em 293.200 US\$ por ano
- Ajudou a melhorar a competitividade nos negócios
- Foi premiado em 1998 com 3º lugar no Estado, no Prêmio FIESP de conservação de energia – categoria energia elétrica.

Outros benefícios indiretos alcançados por este projeto foram:

- Satisfação dos funcionários com o prêmio FIESP
- Redução da propagação de calor na área de fusão
- Redução do desgaste físico do pessoal operacional
- Melhoria da cultura do pessoal da fábrica
- melhoria na produtividade, redução da jornada de trabalho aos domingos

Na substituição inicial do GLP pelo GN foi obtido uma redução de 37% do custo com gás, além de reduzir o número de vasos pressurizados na planta e eliminar três áreas de risco.

A recontração da demanda no horário de ponta, trouxe como benefícios a redução de perdas de produção na fundição e eliminação do gargalo de produção da fábrica, não havendo mais necessidade de colocar jornadas de trabalho extra nos finais de semana.

1.8. CASO 5: SISTEMA DE GESTÃO ENERGÉTICA NA MASA DA AMAZÔNIA

1.8.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de gerenciamento energético relacionadas à implantação de um Sistema de Gestão Energética e medidas para aumento de eficiência no uso da energia elétrica na MASA da Amazônia Ltda., uma empresa do ramo da indústria de Injeção Plástica localizada em Manaus / AM. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A2 com demandas contratadas iguais a 4.089 kW no horário fora de ponta e no horário de ponta.

1.8.2. Apresentação e objetivos

A MASA da Amazônia Ltda possui um sistema permanente de gestão energética, com base no Sistema de Gestão Integrado, constituído pelas normas ISO 9002, ISO 14001, OHSAS 18001 e SA8000 e é aplicável aos produtos e serviços prestados por esta organização, bem como a todas as suas atividades operacionais. Desde então, tem aprimorado a qualidade de seus processos e produtos, adquirindo tecnologia de ponta e investindo constantemente em educação e treinamento de seus colaboradores.

Este projeto de eficiência energética foi premiado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 2004, quando recebeu o Prêmio Procel de Eficiência Energética na categoria Indústrias.

Conforme será apresentado, várias medidas foram implementadas para aumentar a eficiência do uso de energia elétrica. Houve um envolvimento grande das pessoas e uma divulgação muito forte do tema, o que tornou o projeto bem abrangente.



Figura 1.22 - Vista geral da planta industrial de Manaus

1.8.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

Para atender o objetivo de criar uma conscientização sobre o uso eficiente da energia nas pessoas, criou-se no Sistema de Gestão Energética um curso de formação de Agentes Energéticos em parceria com a Federação das Indústrias do Estado do Amazonas (FIEAM), com três turmas, responsáveis por disseminar informações sobre o uso eficiente de energia.

Para divulgação, foram realizadas palestras e desenvolvidos materiais como: cartazes, out-doors, adesivos, bonés, canetas, chaveiro e camisetas.



Figura 1.23 - Material de divulgação

Os Agentes Energéticos também se organizaram para implementar algumas medidas de efficientização energética como: substituição de compressor da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), eliminação de vazamentos de ar comprimido nas linhas das injetoras, sincronismo do movimento dos ciclos dos robôs das injetoras, isolamento térmico da estufa da câmara de pintura com recirculação de ar quente, melhoria nos acionamentos de cortina de ar e outros equipamentos para evitar operação ociosa e a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por outras de vapor metálico.

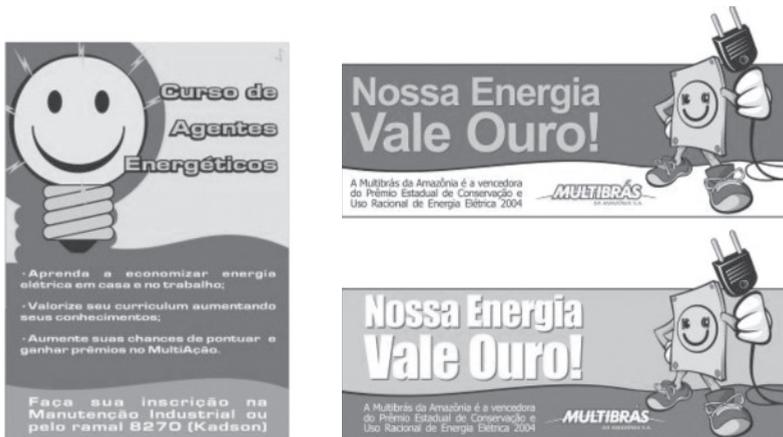


Figura 1.24 - Cartazes e out-doors

Com um conhecimento detalhado do processo de injeção de plástico e do funcionamento dos equipamentos, foram feitas atuações para melhoria da eficiência e redução dos custos com energia. Sabe-se que a presença de umidade no material é uma característica importante na questão energética e operacional das máquinas injetoras, por isso o controle do processo de desumidificação é importante.

Nas injetoras havia um fluxo de calor em alta temperatura, utilizado para aquecimento e fusão do material no molde e também havia um fluxo de calor em baixa temperatura, utilizado para secagem e resfriamento do material antes da retirada das peças do molde.

Neste aspecto foram adotadas medidas de controle de temperatura da água gelada dos chillers e a instalação de mantas térmicas nos cilindros das máquinas.

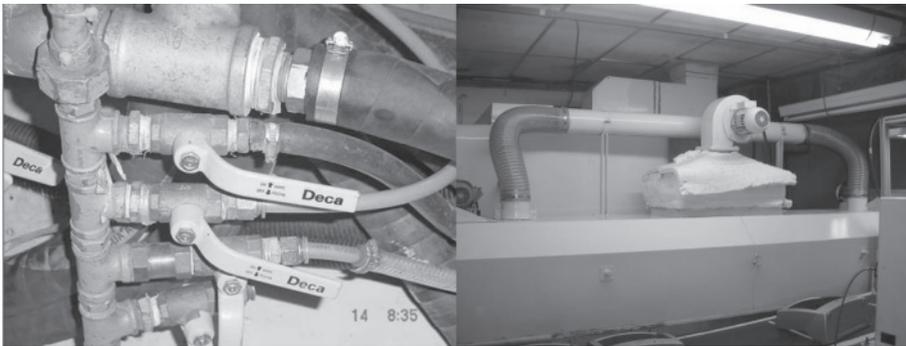


Figura 1.25 - Correção de vazamentos e isolamento térmico da estufa

Outras ações foram tomadas como substituição de equipamentos e instalação de banco de capacitores para controle do fator de potência.

1.8.4. Detalhes da implementação

No sistema de água gelada, foi instalado um sistema de controle de carga com termostato nos Chillers 1 e 2, permitindo um controle do resfriamento de água, proporcional à temperatura de retorno da água, o que reduziu o consumo quando havia menor demanda de água gelada.

Um estudo de cargas também foi realizado com a intenção de identificar os equipamentos que poderiam ser desligados durante o horário de ponta sem comprometer o funcionamento dos processos industriais. O gerenciamento destas cargas elétricas possibilitou a redução da demanda de 5.000 kW para 4.089 kW, permitindo a recontração da demanda neste horário. As cargas identificadas foram:

- Torres de resfriamento
- Bombas de água de condensação
- Bombas de poços artesianos
- Bombas dos reservatórios d'água
- Câmaras frigoríficas
- Moinho de reprocessamento



Figura 1.26 - Gerenciamento de água gelada e substituição de compressor

Medidas de gerenciamento sobre o sistema de iluminação foram:

- Instalação de sensor fotoelétrico nas lâmpadas externas
- Redução do número de luminárias na sala da gerência (12 para 8)
- Instalação de interruptores individuais nas luminárias e ventiladores das bancadas
- Identificação das bancadas com etiquetas do programa de conscientização



Figura 1.27 - Ações sobre luminárias e correção do fator de potência

Outras medidas implementadas:

- Instalação de mantas de isolamento térmico nos cilindros das injetoras
- Substituição de compressor de ar
- Instalação de bancos de capacitores
- Substituição de motor pneumático por elétrico
- Limpeza e unificação dos filtros das bombas de vácuo

1.8.5. Prazos e custos

As medidas de melhoria de eficiência adotadas pela indústria, levaram um ano para ser implementadas e totalizaram um investimento da ordem de R\$172 mil no período de dezembro de 2002 a dezembro de 2003.

Na tabela a seguir estão apresentadas as atividades e as datas em que foram realizadas.

Tabela 1.15 - Cronograma de implantação e investimentos

Item	Medidas	Custo total (R\$)	Período (mês/ano)
1	Instalação de controle de carga nos Chillers 1 e 2	20.000	dez/02
2	Instalação de sistema de capacidade nos Chillers 1e 2	5.000	jan/03
3	Instalação de mantas térmicas nas injetoras	5.000	jan/03
4	Aquisição de compressor com maior capacidade	50.000	mar/03
5	Torres de resfriamento	50.000	abr/03
6	Poços artesianos	5.000	mai/03
7	Bombas do castelo elevado	5.000	jun/03
8	Desligamento do sistema de água potável	0	jul/03
9	Desligamento das câmaras frigoríficas	0	ago/03
10	Instalação de banco de capacitores automático	10.000	ago/03
11	Recontratação da demanda	0	set/03
12	Substituição de motores pneumáticos por elétricos	20.000	set/03
13	Instalação de sensor fotoelétrico	1.000	out/03
14	Redução de 12 para 8 luminárias	0	out/03
15	Colocar disjuntores liga-desliga e plugs, em todas as luminárias e ventiladores.	500	out/03
16	Identificar as bancadas com etiquetas liga-desliga	200	nov/03
17	Instalação de temporizador	500	nov/03
18	Limpeza interna e unificação dos filtros.	500	dez/03

1.8.6. Resultados e benefícios alcançados

A eficientização do uso da energia totalizou um potencial de economia de energia de 370 MWh/ano e uma redução da demanda de 944 kW no horário de ponta, conforme apontado na tabela a seguir. Vale dizer que a redução de demanda que se deu pelas medidas de eficientização foi de 44 kW, os outros 900 kW correspondem a um excedente de demanda contratada que gerou um benefício através da recontração no horário de ponta.

Tabela 1.16 - Economia de energia e redução de demanda na ponta

Item	Medidas	Energia (MWh/ano)	Demanda na ponta (kW)	Indicadores de viabilidade	
				RCB	Pay-back
1	Instalação de controle de carga nos Chillers 1 e 2	50	7	1,47	0,68
2	Instalação de sistema de capacidade nos Chillers 1e 2	50	7	0,37	2,73
3	Instalação de mantas térmicas nas injetoras	15	1,75	1,47	0,68
4	Aquisição de compressor com maior capacidade	45	5,25	5,00	0,20
5	Torres de resfriamento	30	3,5	7,69	0,13
6	Poços artesianos	15	1,75	1,47	0,68
7	Bombas do castelo elevado	15	1,75	1,47	0,68
8	Desligamento do sistema de água potável	15	1,75	-	0
9	Desligamento das câmaras frigoríficas	15	1,75	-	0
10	Instalação de banco de capacitores automático	15	1,75	2,94	0,34
11	Recontratação da demanda	-	900	-	0
12	Substituição de motores pneumáticos por elétricos	15	1,75	5,88	0,17
13	Instalação de sensor fotoelétrico	15	1,75	0,29	3,41
14	Redução de 12 para 8 luminárias	15		-	0
15	Colocar disjuntores liga-desliga e plugs, em todas as luminárias e ventiladores.	15	1,75	0,15	6,83
16	Identificar as bancadas com etiquetas liga-desliga	15	1,75	0,06	17,00
17	Instalação de temporizador.	15	1,75	0,15	6,83
18	Limpeza interna e unificação dos filtros.	15	1,75	0,15	6,83
	Total	370	944		

BIBLIOGRAFIA GERENCIAMENTO ENERGÉTICO

Boustead, I., Hancock, G.F., Handbook of Industrial Energy Analysis, Ellis Horwood Publisher, London, 1985.

Cavalcanti, E. S. C., "Ar Condicionado: Fundamentos para Economia de Energia", Procel, Cepel, Eletrobrás, 1998.

Código de Águas, Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934.

Decreto 5.163, de 30 de julho de 2004.

Geller, H.S., Revolução energética: políticas para um futuro sustentável, Editora Relume Dumará, Rio de Janeiro, 2004.

IBAM / PROCEL / Eletrobrás, Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica, Claudia Barroso Krause e outros, 2004 – Reimpressão.

Kenney, W.F., Energy Conservation in the Process Industries, Academic Press, Orlando, 1984.

Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004.

Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995.

Lei nº 9.074, de 07 de julho de 1995.

Magalhães, L. C., "Orientações Gerais para Conservação de Energia em Prédios Públicos" Eletrobrás/ PROCEL, 1ª Edição, 2001.

Ministério de Minas e Energia - Procel / Eletrobrás, "Manual de Iluminação Eficiente", Brasil, 2002.

Nogueira, L.A.H., "Auditoria Energética", notas de aula, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1990.

PROCEL / Eletrobrás Metodologia de realização de diagnóstico energético, Programa de Eficientização Industrial, Edson Szyszka e Márcio Américo.

Resolução ANEEL nº 456, de 29 de novembro de 2000.

Rocha, L. R. R., Monteiro, M. A. G., "Guia Técnico Gestão Energética", PROCEL / Eletrobrás / Fupai / Efficientia, Rio de Janeiro, 2005.

Santos, A. H. M., et. alli. Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações" 3ª edição, Eletrobrás / PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / Fupai, Itajubá, 2006.

Capítulo 2

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

2.1. INTRODUÇÃO

A iluminação é responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Em relação aos serviços públicos, aproximadamente dois terços são utilizados para iluminação de ruas. Vários trabalhos desenvolvidos mostram que a iluminação ineficiente é comum no Brasil. Uma combinação de lâmpadas, reatores, sensores, luminárias e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica.

2.2. DEFINIÇÕES

Nesta seção faz-se uma seleção de termos e definições relacionadas com a iluminação eficiente.

2.2.1. Controlador de luz

É a parte da luminária projetada para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas; podendo ser do tipo refletor, refrator, difusor, lente e colméia. O tipo de refletor utilizado irá influenciar no rendimento do sistema de iluminação.

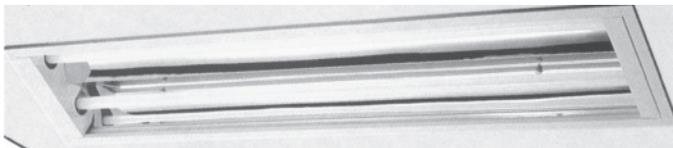


Figura 2.1 - Luminária com refletor

2.2.2. Depreciação do fluxo luminoso

É a diminuição progressiva da iluminância do sistema de iluminação devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias, e, ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas. A figura a seguir apresenta os ganhos obtidos com a limpeza das lâmpadas e luminárias.

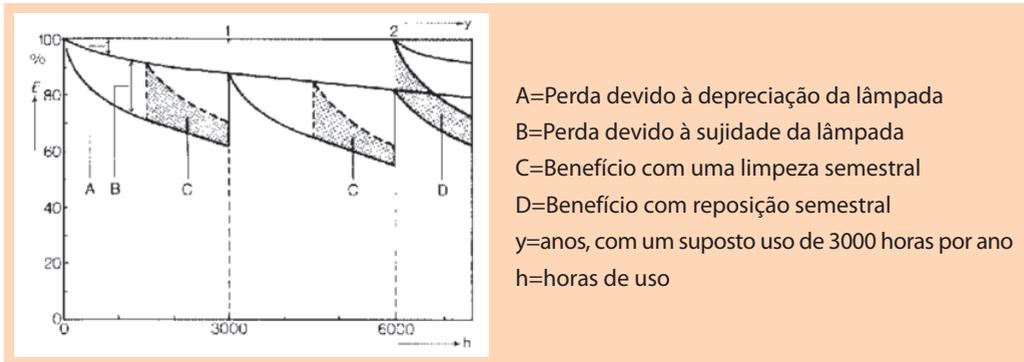


Figura 2.2 - Efeito da depreciação, limpeza e reposição de lâmpadas na iluminância E, de uma instalação de lâmpadas fluorescentes.

2.2.3. Difusor

Dispositivo colocado em frente à fonte de luz com a finalidade de diminuir sua luminância, reduzindo as possibilidades de ofuscamento. Quando possível, sugere-se a retirada deste equipamento, que irá resultar numa melhoria do índice de iluminância do ambiente.

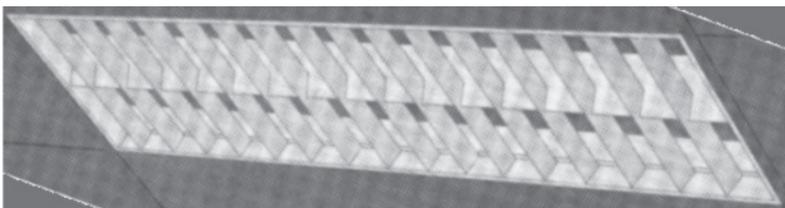


Figura 2.3 - Difusor para luminária com lâmpada fluorescente

2.2.4. Eficiência Luminosa (EL) de uma fonte

Representa a eficiência de cada tipo de lâmpada e é obtida pelo quociente do fluxo luminoso total emitido por uma fonte de luz em lúmens e a potência por ela consumida em Watts. Por exemplo, uma lâmpada incandescente de 100 W, que produz um fluxo luminoso de 1.470 lúmens, apresenta uma EL de 14,7 lm/W; por outro lado, uma lâmpada fluorescente compacta de 23 W, que produz um fluxo luminoso de 1500 lúmens, apresenta uma EL de 65,2 lm/W.

2.2.5. Fator de manutenção (Fm)

É a razão da iluminância média no plano de trabalho, após certo período de uso, pela iluminância média obtida sob as mesmas condições da instalação nova. Os valores apresentados na tabela a seguir mostram que em ambientes sujos, com longos períodos de limpeza, necessitam de uma maior quantidade de lâmpadas no ambiente, conforme os cálculos luminotécnicos apresentados mais adiante.

Tabela 2.1 - Fatores de manutenção.

Período de uso sem limpeza (meses)	Ambiente limpo	Ambiente médio	Ambiente sujo
0	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,92	0,85
4	0,95	0,87	0,76
6	0,93	0,85	0,70
8	0,92	0,82	0,66
10	0,91	0,80	0,63
12	0,90	0,78	0,61
14	0,89	0,77	0,59
16	0,88	0,76	0,57
18	0,87	0,75	0,56
20	0,86	0,74	0,54

2.2.6. Fator de utilização (Fu)

É a razão do fluxo utilizado pelo fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. É um índice da luminária e influi no rendimento desta, onde a utilização de cores cla-

ras em tetos e paredes irá aumentar o rendimento da luminária. Quanto mais claros os acabamentos, menor será a absorção de luz e maior será a iluminação que incide sobre o plano de trabalho. Assim sendo, com a melhora das condições do ambiente, pode-se reduzir o gasto de energia com iluminação sem prejuízo do conforto visual. Por exemplo, uma luminária para lâmpada fluorescente com fator de utilização de 0,82, com uma lâmpada que produz um fluxo luminoso de 3.100 lúmens, fornecerá um fluxo utilizado de 2.542 lúmens.

2.2.7. Iluminância (E)

A iluminância é definida como sendo o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, ou ainda, em um ponto de uma superfície, a densidade superficial de fluxo luminoso recebido.

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \phi}{\Delta S} = \frac{d\phi}{dS}$$

A unidade de medida usual é o lux, definido como sendo a iluminância de uma superfície plana, de área igual a 1 m², que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso igual a 1 lm, uniformemente distribuído.

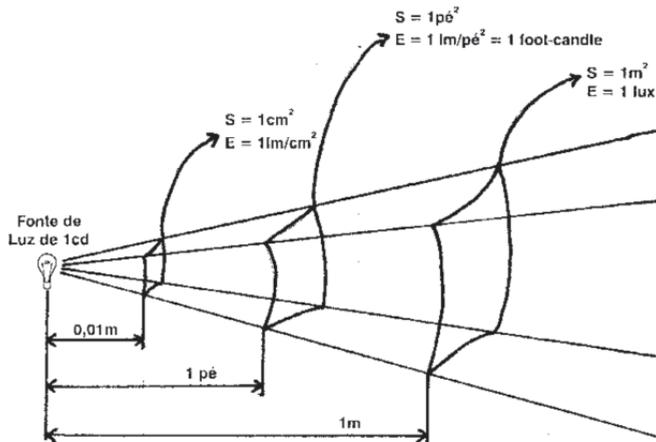


Figura 2.4 - Iluminância de uma fonte de luz.

Considerando agora ambientes de trabalho, a iluminância é definida como iluminância média no plano de trabalho, cujos valores recomendados pela NBR 5413 estão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 2.2 - Níveis de iluminância médios recomendados pela norma NBR 5413

ATIVIDADE	ILUMINÂNCIA (Lux)	
	mínimo	máximo
Mínimo para ambientes de trabalho	150	—
Tarefas visuais simples e variadas	250	500
Observações contínuas de detalhes médios e finos (trabalho normal)	500	1000
Tarefas visuais contínuas e precisas (trabalho fino, por exemplo, desenho)	1000	2000
Trabalho muito fino (iluminação local, por exemplo, conserto de relógio)	2000	—

2.2.8. Índice de Reprodução de Cor (IRC)

O IRC, no sistema internacional de medidas, é um número de 0 a 100 que classifica a qualidade relativa de reprodução de cor de uma fonte, quando comparada com uma fonte padrão de referência da mesma temperatura de cor. O IRC identifica a aparência de como as cores dos objetos e pessoas serão percebidos quando iluminados pela fonte de luz em questão. Quanto maior o IRC, melhor será o equilíbrio entre as cores.

2.2.9. Mortalidade de lâmpadas

É o número de horas de funcionamento das lâmpadas antes que certa porcentagem delas deixe de funcionar. É dependente do número de vezes que se acendem e apagam em um dia.

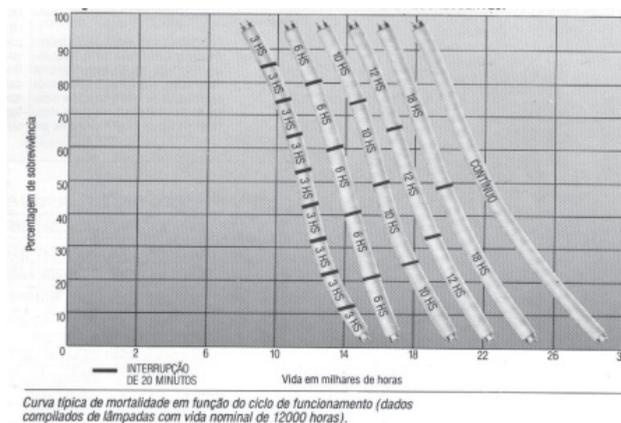


Figura 2.5 - Gráfico de desempenho das lâmpadas fluorescentes.

2.2.10. Reator

Equipamento que limita a corrente em uma lâmpada fluorescente e também fornece a tensão adequada para dar partida na lâmpada. Pode ser do tipo eletromagnético ou eletrônico, com partida rápida ou convencional, e com alto ou baixo fator de potência. O tipo de reator utilizado irá influenciar no consumo de energia.

2.2.11. Vida Mediana Nominal (horas)

Corresponde ao valor em horas, onde 50% de uma amostra de lâmpadas ensaiadas se mantêm acesas sob condições controladas em laboratório. Por exemplo, os fabricantes indicam uma vida de 1000 horas para uma lâmpada incandescente e cerca de 8.000 horas para as lâmpadas fluorescentes compactas.

2.3. CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO

O método apresentado é o dos lumens, que é utilizado para calcular o número de lâmpadas e luminárias, levando em conta as dimensões e o tipo do ambiente que será iluminado. A seguir é apresentado um roteiro para se fazer os cálculos necessários:

- Escolha do nível de iluminamento; (E)
- Determinação do fator do local (K);
- Escolha das lâmpadas e das luminárias;
- Determinação do fator de utilização (F_u);
- Determinação do fluxo total (ϕ_T);
- Cálculo do número de luminárias;
- Distribuição das luminárias.

2.3.1. Escolha do Nível de Iluminamento (E)

A primeira providência será a de escolher o nível médio de iluminamento em função do tipo de atividade visual que será desenvolvida no local.

Para isso, são utilizadas tabelas constantes da norma NB-57 da ABNT, registrada no INMETRO como NB-5413, que fornecem os valores mínimo, médio e máximo admissíveis para cada tipo de ambiente.

2.3.2. Determinação do Fator do Local (K)

A segunda providência será calcular o fator do local que depende das dimensões do ambiente.

Para isso pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$K = \frac{C \cdot L}{(C + L) \cdot A}$$

onde:

C = Comprimento do local

L = Largura do local

A = Altura da luminária ao plano de trabalho

2.3.3. Escolha das Lâmpadas e das Luminárias

Neste item, devem ser levados em conta fatores como a adequada iluminação do plano de trabalho, custo, manutenção, estética, índice de reprodução de cores, aparência visual e funcionalidade.

2.3.4. Determinação do Fator de Utilização (Fu)

O fator de utilização é a razão do fluxo útil que incide efetivamente sobre um plano de trabalho e o fluxo total emitido. Este fator influencia na distribuição de luz e no rendimento da luminária, pois depende do índice de reflexão do teto, paredes e plano de trabalho ou piso e também do fator do local (K).

Para determinar o fator de utilização da luminária escolhida, admite-se para K o valor mais próximo do calculado e avaliam-se as reflexões médias do teto, das paredes e do plano de trabalho pelo seguinte critério de índices:

1 - superfície escura - 10% de reflexão

3 - superfície média - 30% de reflexão

5 - superfície clara - 50% de reflexão

7 - superfície branca - 70% de reflexão

A seguir, monta-se um número com três Algarismos onde:

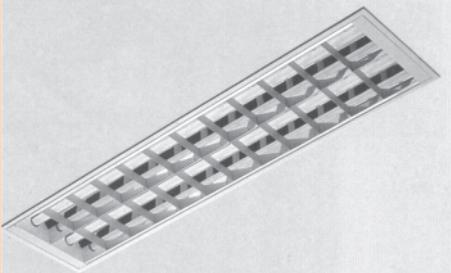
1º algarismo corresponde ao índice de reflexão do teto

2º algarismo corresponde ao índice de reflexão das paredes

3º algarismo corresponde ao índice de reflexão do piso

Com esses dados, seleciona-se na tabela da luminária escolhida o valor do fator de utilização. A seguir, como exemplo, tem-se uma tabela de luminárias para determinação do fator de utilização.

Tabela 2.3 - Fator de utilização obtido em catálogo de fabricante



Modelo Embutir (2x16W/32W)



Modelo Embutir (2x16W/32W)

K	773	751	573	531	353	331	131	000	K	773	751	573	531	353	331	131	000
0,60	0,53	0,40	0,51	0,34	0,40	0,34	0,34	0,30	0,60	0,43	0,33	0,41	0,29	0,33	0,29	0,29	0,25
0,80	0,61	0,48	0,57	0,42	0,48	0,41	0,41	0,36	0,80	0,50	0,39	0,48	0,35	0,39	0,35	0,35	0,31
1,00	0,67	0,54	0,63	0,48	0,53	0,47	0,46	0,42	1,00	0,54	0,45	0,52	0,40	0,45	0,39	0,39	0,36
1,25	0,73	0,59	0,69	0,53	0,59	0,52	0,51	0,48	1,25	0,60	0,48	0,56	0,45	0,49	0,44	0,43	0,41
1,50	0,77	0,63	0,72	0,57	0,63	0,57	0,56	0,51	1,50	0,63	0,51	0,59	0,48	0,52	0,47	0,47	0,44
2,00	0,83	0,69	0,78	0,63	0,69	0,63	0,62	0,58	2,00	0,67	0,56	0,63	0,52	0,57	0,51	0,51	0,48

2.3.5. Determinação do Fluxo Total (ϕT)

Para determinar o fluxo total, pode-se utilizar a expressão abaixo, que determina o valor da iluminância média:

$$Em = \frac{\phi T \cdot Fu \cdot Fm}{S} \Rightarrow \phi T = \frac{Em \cdot S}{Fu \cdot Fm}$$

onde:

E_m = Iluminância Média (Nível de Iluminamento)

S = Área do Ambiente

F_u = Fator de Utilização

F_m = Fator de Manutenção

2.3.6. Cálculo do Número de Luminárias

Cada tipo de lâmpada fornece um valor de lúmens (fluxo luminoso), conforme apresentadas nas tabelas dos fabricantes.

Tabela 2.4 - Lâmpada incandescente para iluminação geral

Tipo	Potência (W)	Acabamento	Fluxo luminoso (lm)		IRC	Vida Mediana (hora)
			127 V	220 V		
Cristal	25	Claro	235	230	100	1000
	40		455	415		
	60		780	715		
	100		1.470	1.350		
	150		2.430	2.180		
	200		3.325	3.090		
Refletores	40	Sílica	305	280	100	2000
	60		535	460		
	100		1.060	895		

Tabela 2.5 - Lâmpada fluorescente compacta

Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura de Cor (K)	IRC	Vida Mediana (hora)
7	400	3.500	82	10.000
13	850	3.500	82	10.000
23	1.520	3.500	82	10.000

Tabela 2.6 - Lâmpada fluorescente tubular

Potência (W)	Fluxo Lumínoso (lm)	Diâmetro (mm)	Temperatura de Cor (K)	IRC	Vida Média (hora)
14	1.350	16	4.000	85	20.000
16	1.070	25	4.100	66	12.000
20	1.060	38	5.520	70	12.000
28	2.900	16	4.000	85	20.000
32	2.950	25	4.100	80	20.000
40	2.700	38	5.250	70	12.000

Através do número de lúmens por luminárias (ϕ_l) tem-se o número de luminárias dado por:

$$n^\circ \text{ de luminárias} = \frac{\phi T}{\phi l}$$

Na tabela de lâmpadas fluorescentes tubulares, observa-se uma evolução na eficiência luminosa, onde uma lâmpada com potência de 28W produz um fluxo luminoso maior que uma lâmpada de 40W. Os exemplos apresentados mais adiante mostram que a Empresa de Tecidos Santenense, a Fábrica de Pneus Michelin e a Fábrica de auto-peças Metagal, realizaram investimentos para substituir os sistemas de iluminação ineficientes e obtiveram resultados satisfatórios.

2.3.7. Distribuição das Luminárias

O espaçamento entre as luminárias depende de sua altura ao plano de trabalho (altura útil) e da sua distribuição de luz. Esse valor situa-se geralmente, entre 1 a 1,5 vezes o valor da altura útil em ambas as direções. O espaçamento até as paredes deverá ser a metade desse valor.

Vale ressaltar que, se o número de luminárias calculadas resultarem em valores incompatíveis com esses limites, os mesmos deverão ser ajustados para não se correr o risco do ambiente ficar com sombras. O ajuste é sempre feito com a elevação do número de luminárias ou com a mudança de sua distribuição.

2.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS LUMINÁRIAS

A luminária, além de ser uma peça decorativa, deve atender os seguintes requisitos:

- 1) Sustentar a lâmpada;
- 2) Garantir a alimentação elétrica;
- 3) Direcionar o fluxo luminoso.

São peças projetadas para determinadas aplicações, envolvendo o tipo de lâmpada, e devem assegurar conforto visual com o máximo de eficiência. O fluxo luminoso deve ser adequadamente direcionado evitando-se, desta forma, o fenômeno de ofuscamento: sensação desagradável que ocorre quando o olho recebe um fluxo luminoso excessivo ou quando sofre um contraste muito forte de luz em um mesmo ambiente. Para evitar o ofuscamento, pode-se embutir a luminária, mas tal providência pode resultar em perdas da ordem de 20 a 70 % do fluxo luminoso.

Uma outra solução mais adequada consiste em instalar a lâmpada acima do campo visual ou, se estiver baixa, utilizar um anteparo que a cubra parcialmente, concentrando-se o fluxo luminoso sobre a tarefa visual em questão. As tabelas a seguir apresentam características de luminárias e dos principais tipos de lâmpadas.

É importante desenvolver uma manutenção periódica visando a limpeza destes sistemas de iluminação. Com o passar do tempo, a poeira vai se acumulando na luminária e, conseqüentemente, reduzindo a intensidade de fluxo luminoso, fazendo com que a luz ambiente diminua. Se isto ocorre na instalação, a empresa está utilizando a energia elétrica para aquecer a poeira, não para iluminar. Na prática, pode-se afirmar que com a manutenção inadequada das luminárias, perde-se cerca de 20 % de luz no ambiente.

Tabela 2.7 - Classificação das luminárias

Tipo	Características Gerais
Embutidas	<ul style="list-style-type: none"> - Normalmente usadas com lâmpadas incandescentes comuns - Apresentam baixo rendimento - Normalmente apresentam problemas de superaquecimento - Difícil manutenção
Fechadas (lâmpadas fluorescentes)	<ul style="list-style-type: none"> - São encontradas com vários tipos de elementos de controle de luz (refletores espelhados com proteção visual, difusor prismático, etc.) - Rendimento moderado, dependendo do tipo de elemento de controle da luz - Difícil manutenção - Podem ser fixadas sobre a superfície do teto e, em alguns casos, podem ser embutidas - Os que dispõem de refletores sem elementos de controle de luz apresentam melhor rendimento.
Abertas	<ul style="list-style-type: none"> - Podem ser encontradas com ou sem elementos de controle de luz - Apresentam rendimentos superiores aos das luminárias fechadas - Fácil manutenção - Podem ser fixadas sobre a superfície do teto ou suspensas
Spots	<ul style="list-style-type: none"> - São utilizadas com vários tipos de lâmpadas incandescentes refletoras ou coloridas - Utilizados para iluminação direcional do fluxo luminoso - Fácil manutenção - Podem ser fixados sobre as superfícies ou embutidos
Projetores	<ul style="list-style-type: none"> - Encontrados em vários tamanhos - Apresentam bom rendimento luminoso - São fixados sobre as superfícies ou suspensos - Podem ser usados com lâmpadas incandescentes comuns até lâmpadas a vapor de sódio - Fácil manutenção, dependendo das condições do local.

Algumas dicas são especialmente importantes para melhorar as condições do ambiente:

- 1) Manter sempre limpas as paredes, tetos e pisos;
- 2) Durante a reforma do ambiente, utilizar cores claras pois refletem melhor a luz;
- 3) Quando as divisórias não puderem ser removidas totalmente, devem-se instalar divisórias baixas para reduzir a absorção de luz e permitir o uso da luz nas áreas adjacentes;
- 4) Utilizar mobiliários com cores claras, que não tenham superfícies brilhantes (lustrosas) ou que não proporcionem reflexões indesejáveis;
- 5) Em ambientes com pé direito muito alto, verificar a possibilidade de rebaixar as luminárias, tomando cuidado com o ofuscamento.

Tabela 2.8 - Principais características das lâmpadas

Tipo	Características gerais
Incandescente Comum	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente reprodução de cores - Baixa eficiência luminosa - Vida mediana: 1.000 horas - Não exige equipamentos auxiliares - Grande variedade de formas
Incandescente halógena	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente reprodução de cores - Vida mediana: 2.000 horas - Eficiência luminosa maior que a incandescente comum - Exige equipamentos auxiliares, dependendo da tensão - Vários tamanhos, inclusive com refletores
Fluorescente	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente a moderada reprodução de cores, dependendo do tipo - Boa eficiência luminosa - Vida mediana: 7.500 a 20.000 horas - Exige equipamentos auxiliares: reator e starter (partida convencional) ou só reator (partida rápida) - Forma tubular em vários tamanhos
Fluorescente Compacta	<ul style="list-style-type: none"> - Boa reprodução de cores - Boa eficiência luminosa - Vida mediana: 3.000 a 12.000 horas - Exige equipamentos auxiliares (reator) - Pequenas dimensões
Mista	<ul style="list-style-type: none"> - Moderada reprodução de cores - Vida mediana: 8.000 horas - Eficiência luminosa moderada - Não exige o uso de equipamentos auxiliares
Vapor de mercúrio	<ul style="list-style-type: none"> - Moderada reprodução de cores - Vida mediana: 12.000 a 24.000 horas - Boa eficiência luminosa - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator)
Vapor metálico	<ul style="list-style-type: none"> - Boa reprodução de cores - Vida mediana: 3.000 a 20.000 horas - Boa eficiência luminosa - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator)
Vapor de sódio alta pressão	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre reprodução de cores - Alta eficiência luminosa - Vida mediana: 12.000 a 55.000 horas - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator e ignitor)

Os casos apresentados a seguir mostram empresas que realizaram investimentos na melhoria dos sistemas de iluminação e obtiveram uma redução no consumo mensal de energia elétrica. As ações foram a substituição dos equipamentos ineficientes, a setorização do comando do sistema de iluminação, para evitar ambientes vazios com as lâmpadas ligadas, a instalação de fotocélulas para ligar as lâmpadas somente quando necessárias, e a instalação de telhas translúcidas para o aproveitamento da iluminação natural.

2.5. CASO 1: SUBSTITUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NA CIA. TECIDOS SANTANENSE

2.5.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência no sistema de iluminação realizadas na Companhia Tecidos Santanense, uma empresa do ramo da indústria de tecidos localizada em Montes Claros / MG. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A4 com demandas contratadas iguais a 3.350 kW no horário fora de ponta e 3.170 kW no horário de ponta.

2.5.2. Apresentação e objetivos

Este projeto teve por objetivo promover a efficientização energética dos sistemas de iluminação da Companhia Tecidos Santanense, através da substituição do sistema de iluminação atual por outro mais eficiente, promovendo a redução de consumo de energia e demanda de potência.

Este projeto teve uma fase de estudos iniciais na qual foi avaliado o potencial de melhoria. Na fase de implementação da obra, as especificações recomendadas na fase de estudo foram mantidas.

2.5.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A metodologia adotada para efficientização do sistema de iluminação foi baseada na substituição tecnológica do conjunto luminária, lâmpada e reator.

Os sistemas mais modernos conseguem produzir a mesma quantidade de luz utilizando menos energia e isto é conseguido devido a redução das perdas nos reatores, redução da potência das lâmpadas e com o aumento do rendimento das lu-

minárias. De acordo com as características dos ambientes, os modelos de luminárias utilizadas foram do tipo industrial ou comercial, sendo que nos ambientes industriais foram abertas ou blindadas com vidro e na área administrativa todas abertas e de embutir.

Seguindo esta metodologia, foi proposta a substituição do sistema antigo de luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares T10 com potências de 40 W e T12 de 110 W, utilizando reatores eletromagnéticos e luminárias com baixo rendimento, pelo sistema novo de luminárias eficientes com lâmpadas fluorescentes tubulares T5 de 54 W utilizando reatores eletrônicos.

Após a implementação, foi realizada uma etapa de medição e verificação dos resultados onde foram escolhidos dois circuitos típicos para comparação.

2.5.4. Detalhes da implementação

O sistema de iluminação era composto por luminárias industriais blindadas com vidro (para área classificada) e abertas e, na área administrativa, por luminárias embutidas e abertas para a área administrativa.

As luminárias da área industrial alojavam um conjunto de três lâmpadas fluorescentes do tipo HO de 110 W (3x110 W) e reatores eletromagnéticos. As luminárias da área administrativa alojavam um conjunto de quatro lâmpadas fluorescentes de 40 W (4x40 W). A tabela a seguir apresenta a quantidade de luminárias existentes.

Tabela 2.9 - Levantamento de iluminação encontrado

Materiais e Equipamentos		Quantidade (unidade)
Equipamento	Tipo	
Luminária Fluorescente 4 x 40 W	Administrativa	266
Luminária Fluorescente 3 x 110 W	Industrial	568

Com o intuito de padronizar o material de iluminação e reduzir o número de peças no estoque de reposição optou-se por utilizar no novo sistema, as lâmpadas fluorescentes tubulares T5. As luminárias escolhidas foram as industriais para 1 ou 2 lâmpadas.



Figura 2.6 - Antes e depois na área BDT

Para garantir o nível de iluminação dos ambientes, aumentou-se o número de luminárias do novo sistema e fez-se uma nova distribuição no plano de iluminação. Também foram criados novos pontos com interruptores para acendimento dos circuitos adicionais. A seguir é apresentada a lista de equipamentos utilizados na eficiência do sistema de iluminação.

Tabela 2.10 - Lista de equipamentos e custos

Materiais e Equipamentos		Custo Unitário (R\$)	Quantidade (unidade)	Custo Total (R\$)
Equipamento	Tipo			
Luminária Industrial com Fechamento em Vidro 2 x 54 W	Industrial	83,61	360	30.099,60
Luminária Industrial 2 x 54 W	Industrial	44,23	1077	47.635,71
Luminária Industrial 1x 54 W	Industrial	40,2	63	2.532,60
Lâmpadas Fluorescente 54W – T5	Fluorescente	16,4	2937	48.166,80
Reatores Eletrônicos	Eletrônico	65,72	1437	94.439,64
Acessórios (Cabos elétricos, caixa de tomada, porcas, parafusos, etc...)		-	-	16.336,69
Total				239.211,04

2.5.5. Prazos e custos

Este projeto fez parte do Programa de Eficiência Energética (PEE) do ciclo 2002/2003 da CEMIG e foi realizado pela empresa EFFICIENTIA. O planejamento das etapas do projeto foi estabelecido e aprovado segundo o cronograma físico apresentado para a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Tabela 2.11 - Cronograma físico

Etapas	Meses									
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Auditoria Energética										
Estudo Luminotécnico										
Implementação das Ações										
Avaliação dos Resultados										
Promoção										

Como mostrado a seguir, os custos com materiais e equipamentos correspondem à maior parte do projeto, seguido pelos custos com mão-de-obra de terceiros. Os outros custos correspondem às despesas administrativas e transportes.

Tabela 2.12 - Custos da obra

Tipo de Custo	Custos Totais	
	R\$	(%)
Material e Equipamentos	239.211,04	83%
Mão-de-obra Própria	3.840,00	1%
Mão-de-obra de Terceiros	39.672,00	14%
Outros custos	6.485,00	2%
TOTAL	289.208,04	100%

2.5.6. Resultados e benefícios alcançados

O diagnóstico energético realizado no início do projeto fez algumas considerações de potência para os sistemas de iluminação utilizados e propostos. Com o tempo de utilização declarado pelo cliente, foi então calculada a energia consumida por ambos.

A previsão de economia com a implementação das ações de eficiência energética foi de aproximadamente 1.066 MWh/ano, com uma redução de demanda nos horários de ponta e fora de ponta de 124 kW. Para confirmar os resultados obtidos pelo estudo, foi realizada uma etapa de medição e verificação da potência dos conjuntos de luminárias novos e dos já existentes.

Foram selecionados dois circuitos, sendo um no setor de Tecelagem o outro no de Urdideiras, onde foram instalados equipamentos de medição de grandezas elétricas para registrar as potências solicitadas pelos sistemas. O circuito da Tecelagem, composto por 90 luminárias do tipo 2x54 W foi tomado como o modelo eficiente. O circuito das Urdideiras, composto por 48 luminárias do tipo 3x110 W, foi tomado como o modelo não eficiente.

As potências médias medidas foram de 15.700 W para o circuito da Tecelagem e de 11.060 W para o circuito das Urdideiras, resultando nas potências médias por luminária (reator e lâmpadas) nos dois sistemas de iluminação de 123 W e 327 W, respectivamente. No entanto, a quantidade de luminárias praticamente dobrou, o que correspondeu a uma redução de 327 W para 246 W, ou uma economia de 25% sobre a potência de iluminação onde houve a troca.

Com o projeto totalmente implantado, apurou-se uma redução de 89,95 kW de demanda no horário de ponta e uma redução no consumo de 777,1 MWh/ano. Isto se deu em grande parte à necessidade de adequação dos níveis de iluminamentos à norma brasileira NBR 5413. O Investimento total foi de aproximadamente R\$ 289 mil e o benefício foi de R\$ 120 mil por ano.



Figura 2.7 - Antes e depois na área das Urdideiras

2.6. CASO 2: APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL NA MICHELIN

2.6.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência no sistema de iluminação realizadas na Sociedade Michelin de Participações, Indústria e Comércio Ltda., uma empresa do ramo de fabricação de pneus localizada em Itatiaia / RJ. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A2 com demandas contratadas iguais a 22.000 kW no horário fora de ponta e 20.000 kW no horário de ponta.

2.6.2. Apresentação e objetivos

A Michelin possui 4 unidades industriais localizadas no estado do Rio de Janeiro. O regime de produção é de 24 horas por dia, atingindo uma produção anual da ordem de 155.000 toneladas, incluindo aros metálicos e pneus. O suprimento de energia é atendido pela AMPLA ou pela Light.

Em todas as suas unidades existem grupos de trabalhos focados na identificação de oportunidades de melhoria de eficiência e acompanhamento mensal dos consumos específicos do processo, abrangendo os seguintes insumos: energia elétrica, água, gás natural e hidrogênio.

Considerando que a utilização da energia de forma responsável, sem desperdícios, é um parâmetro de profissionalismo, na implantação do seu programa de eficiência energética foram destacadas duas áreas de atuação: a área de ação humana, relativa à mudança de hábitos de utilização e a área de ação técnica, relativa às implementações físicas para melhoria de eficiência.

Desta forma, colocou-se como objetivo, a busca de ações com resultados que fossem economicamente viáveis para a empresa e a procura de projetos que oferecessem tempo de retorno menor ou igual a dois anos.

Também foi determinado que, as ações não perdessem seu efeito ao longo do tempo sendo, na medida do possível, mais perenes.

2.6.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

Buscando atender seus objetivos do programa de eficiência energética, a Michelin realizou ações sobre os sistemas de iluminação, de ar condicio-

nado e de ar comprimido. A seguir serão apresentados os ganhos obtidos com a eficientização do sistema de iluminação.

Ao determinar uma meta de redução do consumo de energia elétrica, surgiram muitas idéias práticas e de rápida instalação, principalmente quando relacionadas a uma mudança de hábitos de consumo e aproveitamento da luz natural.

Neste caso, destacam-se as ações sobre o sistema de iluminação realizadas nas fábricas TCAS e DR, como: a instalação de fotocélulas para acionamento da iluminação, o seccionamento de circuitos de iluminação e a instalação de telhas translúcidas.

2.6.4. Detalhes da implementação

Na fábrica TCAS, a unidade industrial SODR teve a instalação de fotocélula nas oficinas de Controle de Pneus e de Estoque de Gomas. Estas oficinas possuíam iluminação artificial com lâmpadas de vapor metálico e uma forte iluminação natural durante o dia, proporcionada pelas telhas translúcidas já existentes.

O desligamento automático através do acionamento das fotocélulas sobre parte do circuito de iluminação das oficinas, pôde proporcionar a economia de energia retirando o excesso de iluminação sem comprometer o nível adequado para a realização das atividades. Na medição do nível de iluminamento realizada após o desligamento das lâmpadas, foi contatado 400 lux.

Para isto foi feita a instalação de uma fotocélula com o objetivo de atuar sobre o quadro de comando dos circuitos de iluminação, desligando-os durante o dia. Nesta área que permanecia 24 h com a iluminação ligada, foi possível a redução dessa permanência em 6 horas, onde existem 80 luminárias com lâmpadas de vapor metálico de 250 W instaladas.



Figura 2.8 - Telha translúcida na Oficina de Goma

Outra implementação no sistema de iluminação foi a separação do circuito de iluminação da oficina de Estoque de Pneus e da oficina de Controle de Qualidade. O estudo de viabilidade técnico-econômica para a separação do circuito de comando da iluminação, foi baseado na economia de energia elétrica obtida pela racionalização do número de luminárias ligadas à noite. Esta modificação dos circuitos permitiu que fossem desligadas 130 luminárias com lâmpadas de 250 W durante o terceiro turno, permanecendo desligadas por 6 horas.

Na fábrica DR, seguindo a mesma idéia de aproveitamento da luz natural, foram instaladas telhas translúcidas como uma medida de racionalização na unidade industrial PLSA/R. Para isto foi necessário realizar uma setorização dos circuitos de iluminação para desligar parte das lâmpadas durante o dia.

Complementando esta ação, também foi reduzida a potência do sistema de iluminação. Inicialmente existiam 118 luminárias com potência de 220 W para 71 luminárias de 80 W, sendo que 45 unidades passaram a ser ligadas apenas 9 horas por dia. As outras mantiveram o tempo de funcionamento de 18 horas por dia.

2.6.5. Prazos e custos

Na unidade industrial SODR, a instalação de fotocélulas na oficina de Controle de Pneus e Estoque de Gomas consumiu material elétrico e mão-de-obra a um custo de R\$1.280,00.

O investimento realizado no seccionamento do circuito de iluminação da Logística ocorreu principalmente em virtude da compra de material elétrico para a separação dos circuitos e em mão-de-obra, totalizando R\$ 1.980,00.

Já na unidade industrial PLSA/R/DR, para a mão-de-obra de instalação e compra das telhas translúcidas foi necessário um investimento de R\$ 3.465,00. A tabela a seguir apresenta o resumo dos investimentos realizados.

Tabela 2.13 - Resumo dos investimentos em projetos de iluminação

Projeto	Investimento (R\$)
Instalação de fotocélulas na oficina de Controle de Pneus	1.280,00
Separação do circuito de iluminação da Logística	1.980,00
Instalação de telhas translúcidas na unidade PLSA/R/DR	3.465,00
Total	6.725,00

No projeto de instalação das telhas translúcidas também foram substituídas as potências das lâmpadas, no entanto este custo não foi computado no investimento.

2.6.6. Resultados e benefícios alcançados

Os projetos realizados nos sistemas de iluminação proporcionaram uma economia de energia de 217,5 MWh/ano e redução de demanda no horário de ponta de 25,2 kW. Considerando o custo médio da energia igual a 89,25 R\$/MWh, obteve-se um resultado econômico de R\$19.429,00 que foi pago em aproximadamente 4 meses.

Tabela 2.14 - Resumo dos benefícios alcançados pelos projetos de iluminação

Projeto	Energia (MWh/ano)	Demanda (kW)	Benefício (R\$)
Instalação de fotocélulas na oficina de Controle de Pneus	43	5,0	3.831,00
Separação do circuito de iluminação da Logística	70	8,1	6.267,00
Instalação de telhas translúcidas na unidade PLSA/R/DR	104,5	12,1	9.331,00
Total	217,5	25,2	19.429,00

2.7. CASO 3: APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA T5 NA METAGAL

2.7.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência no sistema de iluminação realizadas na Metagal Indústria e Comércio Ltda. (METAGAL), uma empresa do ramo de fabricação de autopeças com duas plantas industriais, uma localizada em Santa Rita do Sapucaí / MG, com estrutura tarifária horo-sazonal Azul do sub-grupo A4 com demandas contratadas iguais a 1.050 kW no horário fora de ponta e 800 kW no horário de ponta. Outra localizada em Conceição dos Ouros / MG, com estrutura tarifária horo-sazonal Verde do sub-grupo A4, com demanda contratada igual a 765 kW.

2.7.2. Apresentação e objetivos

Através do Programa de Eficiência Energética da CEMIG, a Metagal fechou um contrato de desempenho, com a empresa Efficientia, para realizar a substituição tecnológica do sistema de iluminação, adequando o nível de iluminamento dos se-

tores da empresa e buscando o aumento da eficiência. Fizeram parte do projeto duas unidades industriais no Sul de Minas Gerais, sendo uma em Santa Rita do Sapucaí e outra em Conceição dos Ouros.



Figura 2.9 - Fachadas das unidades

A unidade de Conceição dos Ouros é estruturada para produzir integralmente espelhos retrovisores para carros de passeio, concebida dentro dos conceitos do sistema “Lean Manufacturing”, apresentando fluxos de materiais totalmente racionalizados e bem definidos. Utiliza também técnicas como “Kanban”, para gerenciar sua programação interna e otimizar a produção. Dispõe de máquinas de injeção de plástico, as quais foram selecionadas, para receber e operar com alto nível de automação, em função do volume de peças por elas produzidas e ferramentas como “Poka Yoke”, aplicadas nas linhas de montagem, oriundas de projetos de “KAISEN”. Seus principais clientes são VW e GM. Esta unidade possui uma área construída de 3.700 m² dentro de uma área total de 10.000 m².

A unidade de Santa Rita do Sapucaí é o braço metalúrgico da empresa e é responsável pela produção de todos os componentes metálicos utilizados nos espelhos retrovisores do grupo e também pela fabricação de espelhos retrovisores para caminhões e ônibus. Está instalada em uma área construída de 8.000 m² à margem da rodovia BR 459.

O projeto apresentou os seguintes objetivos:

- 1) Otimizar o consumo de energia elétrica (kWh) e reduzir a demanda de potência (kW), principalmente no horário de ponta do sistema;
- 2) Criar condições para que haja um efeito multiplicador nas demais indústrias do setor;
- 3) Reduzir os custos operacionais pela adequação do uso de energia elétrica, aumentando a competitividade dos clientes.

2.7.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

O Projeto proposto, em sua fase inicial, contou com uma Auditoria Energética nas unidades industriais, descritas anteriormente, com foco nos sistemas de iluminação atualmente instalados com o objetivo de reduzir a demanda, o consumo e a adequar os índices de iluminação àqueles previstos na norma NBR 5413.

Para a viabilização dos procedimentos de implementação das ações de eficiência energética em 2003, os investimentos foram realizados pela CEMIG e regidos por um Contrato de Desempenho específico, onde o objeto do contrato foi garantir a obtenção de economias de energia elétrica pré-estabelecidas, apoiadas em medições específicas ou em metodologias de cálculo apropriadas.

O Projeto foi desenvolvido de acordo com as etapas detalhadas a seguir:

ETAPA 1: Elaboração de Auditoria Energética

A Auditoria Energética foi realizada por pessoal próprio da CEMIG, em parceria com os profissionais da METAGAL, e teve como objetivo, avaliar e identificar, em primeira análise, as condições das instalações e os índices de iluminação atuais nos diversos setores da empresa, além da elaboração de projeto básico do sistema de iluminação substituto.

Com base nos resultados dos trabalhos de Auditoria Energética, foram definidos os escopos que compuseram o Projeto de Detalhamento do Sistema de Iluminação realizado pela empresa de consultoria especializada, contratada para este fim.

ETAPA 2: Elaboração de Projeto Luminotécnico detalhado

Com base nas informações obtidas na Etapa 1, foi elaborado o Projeto Luminotécnico detalhado, acompanhado de Relatório Técnico do Sistema de Iluminação, onde constaram as medições e análises dos índices de iluminação, por setor, antes e após a adoção de medidas, além das recomendações necessárias à eficiência dos sistemas atualmente instalados.

No Relatório Técnico, constaram também, propostas claras de medições direcionadas e/ou critérios / metodologias, que permitiram a aferição dos resultados alcançados após a implementação das medidas recomendadas.

ETAPA 3: Implementação das Medidas Seleccionadas

Estabelecidos os parâmetros que nortearam a parceria CEMIG / METAGAL, formalizados no Contrato de Desempenho assinado, foram seleccionados e contratados os fornecedores de equipamentos / serviços / montagem especializada para a implementação das medidas nos sistemas de iluminação, sob a supervisão das partes envolvidas.

ETAPA 4: Avaliação dos Resultados

Imediatamente após a implementação das medidas seleccionadas, foi iniciada a etapa de avaliação dos resultados.

A avaliação dos resultados foi feita através da comparação da situação atual e da prospectiva, de acordo com medições específicas e/ou critérios/metodologias constantes do Relatório Técnico (produto da Etapa 2), devidamente discutidas e consolidadas entre CEMIG e a METAGAL.

Evidentemente, os procedimentos de avaliação de resultados foram descritos e discriminados no Contrato de Desempenho assinado entre as partes, bem como os critérios de remuneração dos investimentos realizados.

Previu-se a aferição dos resultados por prazo equivalente à duração do Contrato de Desempenho.

ETAPA 5: Promoção

Os resultados obtidos foram divulgados através de ações promocionais.

2.7.4. Detalhes da implementação

Pelas informações obtidas no local durante a realização do diagnóstico energético, verificou-se que a indústria possuía sistemas de iluminação deficientes em termos tecnológicos, especialmente nas áreas industriais.

Estes sistemas eram compostos por lâmpadas fluorescentes tubulares com potências de 40 W, 20 W e de 110 W, vapor de mercúrio de 400 W, mistas de 250 W e vapor de sódio de 400 W, sendo dispostas em luminárias comuns, com reatores eletromagnéticos.

Previu-se então fazer a substituição com as seguintes considerações:

- Substituição das lâmpadas de vapor de sódio da área fabril por lâmpadas de vapor metálico para adequar esta área ao nível de iluminamento e ao índice de

reprodução de cor exigido pelo processo.

- Substituição de todas as luminárias contendo lâmpadas fluorescentes tubulares de 2x20W, 1x40W, 2x40W, 4x40W, 1x110W e 2x110W, de baixo rendimento, por luminárias de alta eficiência com reatores eletrônicos e refletores espelhados de 1x28W e 2x28W, adequando o índice de iluminamento à norma NBR 5413 e padronizando todo o sistema por lâmpadas fluorescentes tubulares tipo T5 com potência de 28W.
- Substituição de todas as luminárias de baixa eficiência com lâmpadas de vapor de mercúrio de 400W dos postes da área externa, por luminárias de alta eficiência com lâmpadas de vapor de sódio de 150W.
- Substituição de todas as luminárias de baixa eficiência com lâmpadas mistas de 250W dos galpões, por luminárias de alto rendimento com lâmpadas de vapor metálico de 250W, melhorando o nível de iluminamento geral e o índice de reprodução de cor.
- Retrofit das luminárias das cabines de pintura, devido às características de tamanho, formato e proteção das mesmas.
- Acréscimo de projetores na fachada da Empresa.



Figura 2.10 - Comparativo dos sistemas em Conceição dos Ouros

Um estudo preliminar realizado na instalação industrial, objeto deste projeto, apontou para a necessidade de adequação do sistema de iluminação atual, conforme apresentadas nas tabelas a seguir:

Tabela 2.15 - Sistemas de Santa Rita do Sapucaí

Anterior			Proposto		
Qtd	Tipo de Luminária	Potência (kW)	Qtd	Tipo de Luminária	Potência (kW)
15	2 x 20 W	0,8	161	1 x 28 W	5,0
185	2 x 40 W	18,5	37	2 x 28 W	2,3
102	2 x 40 W / E	10,2	82	2 x 28 W / E	5,0
			16	1 x 28 W / E	0,5
25	4 x 40 W	5,0	23	2 x 28 W	1,4
11	1 x 110 W	1,4	10	2 x 28 W	0,6
10	2 x 110 W	2,5	20	2 x 28 W	1,2
24	Mercúrio 400 W	10,3	24	Sódio 150 W	4,2
133	Sódio 400 W	59,9	133	Metálico 400 W	59,9
505		108,5	506		80,0

Observa-se que o sistema anterior de Santa Rita do Sapucaí consumia 56.501 kWh / mês e o sistema proposto passou a consumir 44.296 kWh/mês, gerando uma economia média de 146,5 MWh/ano e uma redução de potência igual a 28 kW.

Tabela 2.16 - Sistemas de Conceição dos Ouros

Anterior			Proposto		
Qtd	Tipo de Luminária	Potência (kW)	Qtd	Tipo de Luminária	Potência (kW)
15	2 x 20 W	0,8	9	1 x 28 W	0,28
3	4 x 40 W	0,3	3	1 x 28 W	0,1
55	1 x 40 W	2,8	55	1 x 28 W	1,7
117	2 x 40 W	11,7	61	1 x 28 W	1,9
			83	2 x 28 W	5,0
47	4 x 40 W	9,4	40	2 x 28 W	2,4
7	4 x 40 W	1,4	7	2 x 28 W	0,4
12	1 x 110 W	1,5	28	2 x 28 W	1,7
12	2 x 110 W	3,0	8	2 x 28 W	0,5
158	Mista 250 W	39,5	65	Metálico 250 W	18,2
426		70,3	359		32,3

Em Conceição dos Ouros o sistema anterior consumia 38.268 kWh/mês e com o sistema proposto passou a consumir 17.171 kWh/mês, gerando uma economia de energia média de 253 MWh/ano e uma redução de potência igual a 38 kW.



Figura 2.11 - Comparativo dos sistemas em Conceição dos Ouros

Tabela 2.17 - Lista de materiais utilizados

Equipamento	Qtd	Potência Unitária (W)	Potência Total (W)
Lâmpada fluorescente tubular trifósforo 28W	980	28	27440
Lâmpada elipsoidal vapor metálico 400W	133	400	53200
Lâmpada vapor de sódio tubular 150W	24	150	3600
Lâmpada vapor de sódio elipsoidal 250W	65	250	16250
Reator eletrônico alto fator de potência 1x28W / 220V	304	3	912
Reator eletrônico alto fator de potência 2x28W / 220V	338	5	1690
Reator eletromagnético para lâmpada vapor de sódio alto fator de potência 1x150W/220V interno	24	25	600
Reator eletromagnético alto fator de potência 1x250W/220V interno	65	30	1950
Reator eletromagnético alto fator de potência 400W	133	50	6650

2.7.5. Prazos e custos

Este projeto foi realizado através de um contrato de desempenho seguindo os dados de economia previstos no diagnóstico energético foram determinados os seguintes critérios para o contrato:

Tabela 2.18 - Detalhamento dos custos do projeto

Projeto	Investimento (R\$)
Materiais e equipamentos (lâmpadas, luminárias, reatores, fios e conectores)	120.092,53
Mão-de-obra para instalação dos equipamentos	28.345,64
Transporte	2.000,00
Custos administrativos	2.906,56
Total	153.344,73

Tabela 2.19 - Características do contrato de desempenho

Projeto	Investimento (R\$)
Valor máximo previsto para amortização mensal	R\$ 6.429,63
Investimento Total	R\$ 153.344,73
Taxa de desconto	12% ao ano
Número de parcelas	47 prestações

2.7.6. Resultados e benefícios alcançados

Os trabalhos previstos no presente projeto tiveram como resultado, após a implantação das medidas de otimização dos sistemas de iluminação da Metagal, a redução das despesas com energia elétrica, trazendo como benefício direto, a redução dos custos específicos de produção, sendo o mesmo estendido a outras unidades da empresa.

Para alcançar estes objetivos, algumas metas de economia foram quantificadas previamente, trabalho este, apoiado no diagnóstico energético realizado em conjunto com os profissionais da Metagal.

Com a implementação das medidas, observou-se que houve uma redução de energia em cerca de 400 MWh/ano com uma redução de demanda na ponta de 62 kW e de 66 kW fora da ponta.

A economia mensal foi utilizada em sua totalidade (R\$ 6.429,63) para a amortização do investimento realizado pela empresa Efficientia.

Tabela 2.20 - Benefícios alcançados e investimentos realizados

Planta	Resultados		
	Demanda Deslocada na Ponta (kW)	Energia Economizada (MWh/ano)	Investimento (R\$)
Santa Rita do Sapucaí	28	146,5	65.296,12
Conceição dos Ouros	34	253,1	54.796,73
Mão-de-obra de ambas	-	-	33.251,88
Total	62	399,6	153.344,73

BIBLIOGRAFIA ILUMINAÇÃO

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT "Iluminância de interiores - Especificação", NBR 5413, Rio de Janeiro, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT "Iluminação: Terminologia", NBR 5461, Rio de Janeiro, 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, "Verificação de iluminância de interiores - Procedimento" NBR 5382, Rio de Janeiro, 1985.

Barbosa, R., Almeida, J. G. P., "Manual de Iluminação Pública Eficiente" IBAM / PROCEL Eletrobrás, Rio de Janeiro, 1998.

Costa, G. J. C., "Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação" EDIPUCRS, Brasil, 1998.

Fonseca, R. S., "Iluminação Elétrica", Editora McGraw-Hill do Brasil, Brasil, 1974.

Garcia Jr, E., "Instalações Elétricas - Luminotécnica", Editora Érica, Brasil, 1996.

General Eletric – Consumer & Industrial - Catálogo Geral de Produtos, Brasil, 2003.

Helfont - Reatores Eletromagnéticos e Eletrônicos, Catálogo, Brasil, 2004.

Intral - Reatores, Estabilizadores e Transformadores, Catálogo, Brasil, 2005.

Itaim - Indústria Elétrica Itaim Comercial Ltda - Catálogo de Luminárias, Brasil, 2003.

Magalhães, L. C., "Orientações Gerais para Conservação de Energia em Prédios Públicos" Eletrobrás/ PROCEL, 1ª Edição, 2001.

Ministério de Minas e Energia - Procel / Eletrobrás, "Manual de Iluminação Eficiente", Brasil, 2002.

Moreira, V. A., "Iluminação Elétrica", 1ª Edição, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1999.

Osram - Produtos para Iluminação Geral - Catálogo, Brasil, 2006.

Philips Iluminação – Guia de Iluminação, Brasil, 2004.

Philips, "Manual de Iluminação", Centro de Projetos e Engenharia de Iluminação, Holanda, 1986.

Santos, A. H. M., et. alli. Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações" 3ª edição, Eletrobrás / PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / Fupai, Itajubá, 2006.

Sylvânia - Lâmpadas Fluorescentes - Boletim Técnico de Engenharia, Brasil, 1995.

Sylvânia Iluminação, Catálogo de Lâmpadas, Brasil, 2004.

Capítulo 3

ACIONAMENTOS

3.1. INTRODUÇÃO

Os desenvolvimentos iniciados com Nikola Tesla no final do século XIX conduziram a uma extraordinária, robusta, confiável e eficiente máquina que, quando bem especificada, pode, virtualmente, ser aplicada em qualquer ambiente e condições de carga: o motor de indução trifásico.

O motor de indução trifásico é uma máquina intrinsecamente eficiente. O formato da sua curva de rendimento revela um largo patamar que cobre uma faixa de 50 a 100% de carga com altos rendimentos. Tal comportamento não é facilmente encontrado em outras concepções de máquinas, tais como as hidráulicas ou as térmicas, onde o rendimento cai rapidamente quando se opera fora das condições nominais.

Porém, se os motores de indução são máquinas eficientes, por que eles são considerados um grande potencial de economia de energia quando se realiza diagnóstico energético em uma indústria?

A resposta a esta questão se apóia em pelo menos dois fatores. O primeiro é a grande quantidade de unidades instaladas. Os motores de indução são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 25% de toda a energia elétrica gerada no Brasil (Bortoni, 2006).

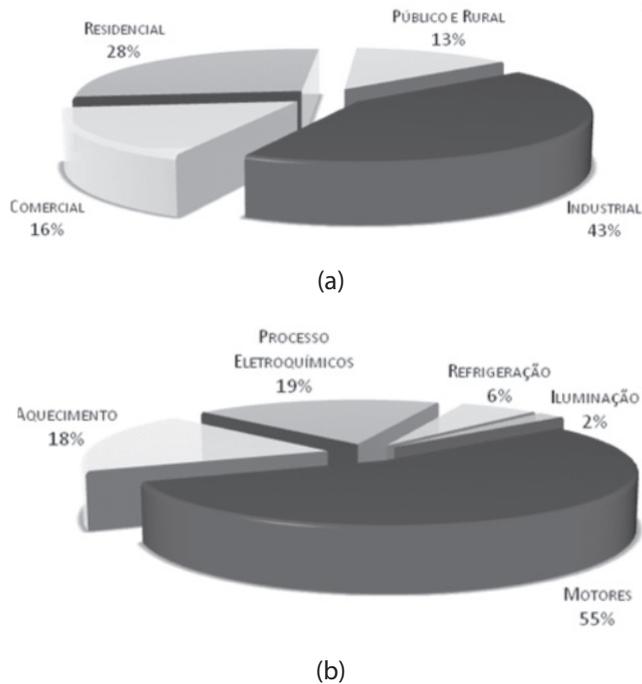


Figura 3.1 - Utilização da energia elétrica no Brasil (a) e na indústria (b).

Estima-se que existam mais de dois milhões de unidades instaladas, as quais são responsáveis pelo consumo anual de algo em torno de cem milhões de megawatt horas. Nestes termos, um aumento de apenas 0,5% no rendimento do sistema motor, isto é, o conjunto motor-carga, é equivalente à construção de uma central geradora virtual de 120 MW. Uma economia de quase duzentos milhões de dólares todos os anos!

O segundo fator é a má aplicação de um grande percentual das unidades instaladas. Problemas de acoplamento mecânico tais como desalinhamento e tensão inadequada de correias, problemas com limpeza e lubrificação, e, acima de tudo, mau dimensionamento, são exemplos de más aplicações, as quais contribuem com redução do rendimento de todo o sistema motor-carga.

O sobre-dimensionamento, isto é, o uso de um motor com potência muito superior à necessária para o acionamento da carga, conta com uma considerável parcela dos problemas de eficiência encontrados na maioria das aplicações. De acordo com um estudo do departamento de energia americano, cerca de 40% dos motores instalados na indústria operam a 40%, ou menos, de sua capacidade nominal, resultando em uma aplicação ineficiente (Hurst, 2007).

Na verdade, a prática do sobre-dimensionamento não é um problema de fal-

ta de técnica, mas de falta de informação. O completo desconhecimento das características dinâmicas da carga usualmente conduz à adoção de fatores de segurança generosos e especificações equivocadas.

No entanto, descobrir se um motor está realmente sobre-dimensionado não é uma tarefa simples. Mais complicado ainda é o processo de tomada de decisão se um motor suposto sobre-dimensionado pode ser substituído ou não, já que ele envolve não somente a condição de operação em regime permanente, mas também a dinâmica da partida e o comportamento térmico durante o ciclo de operação.

Este capítulo apresenta técnicas para avaliar se um motor está sobredimensionado ou não, considerando seu carregamento estático e dinâmico, propondo soluções alternativas para aumentar a eficiência de todo o sistema motor-carga.

3.2. PERDAS E RENDIMENTO

O motor de indução trifásico é um equipamento que, baseado em fenômenos eletromagnéticos, converte energia elétrica em energia mecânica, ou vice-versa, quando passa a se chamar gerador. A Figura 3.2 mostra os principais componentes desta máquina. Naturalmente, esta conversão não é completa devido a uma série de perdas que ocorrem no interior da máquina durante este processo. Tais perdas podem ser agrupadas da seguinte forma: perdas Joule no estator, perdas Joule no rotor, perdas no ferro, perdas por dispersão e perdas por atrito e ventilação.

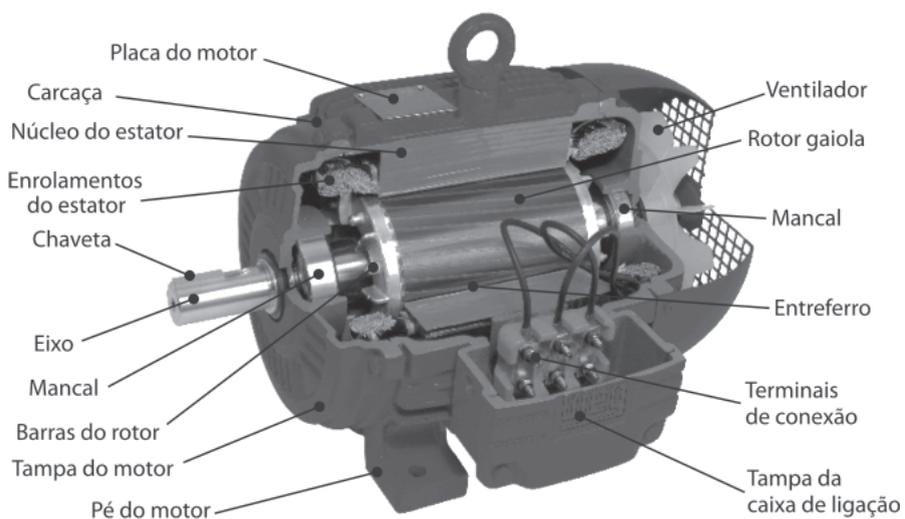


Figura 3.2 - Partes constituintes de motores de indução trifásicos.

As perdas por efeito Joule no estator (P_{J1}) e no rotor (P_{J2}) resultam da passagem de corrente elétrica pelos seus enrolamentos. As perdas no ferro são constituídas pelas perdas por histerese e Foucault (P_{HF}). A perda por histerese resulta da constante reorientação do campo magnético sobre o pacote de lâminas de aço-silício, já as perdas de Foucault são devidas às correntes induzidas no interior do material magnético que, circulando, produzem perdas na forma de calor. As perdas por histerese e Foucault ocorrem tanto na parte estacionária (maior parcela) como na parte girante do motor. As perdas por atrito e ventilação (P_{AV}) ocorrem devido ao atrito nos rolamentos da máquina e pelo arrasto aerodinâmico provocado pela geometria irregular do rotor e pelo próprio ventilador por vezes instalado na ponta do eixo. As perdas adicionais (P_{AD}), ou por dispersão, incluem todas as perdas não classificadas anteriormente e normalmente crescem com o carregamento da máquina.

A potência elétrica absorvida da rede (P_{el}) menos as perdas (ΣP) resulta na potência mecânica (P_m) disponível no eixo do motor. O rendimento (η) será dado pela relação entre a potência mecânica e a potência elétrica. As equações a seguir explicitam estas afirmações.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{el}}$$

$$P_{el} = P_m + \Sigma P$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{el}} = \frac{P_m}{P_m + \Sigma P} = \frac{P_{el} - \Sigma P}{P_{el}}$$

Esta última expressão, para a determinação do rendimento é mais usada, principalmente pela facilidade de se medir a potência elétrica em relação à potência mecânica.

A distribuição das perdas em um motor varia de acordo com o seu carregamento. A Figura 3.3 apresenta a relação de proporção e distribuição média das perdas em um motor operando em condições nominais.

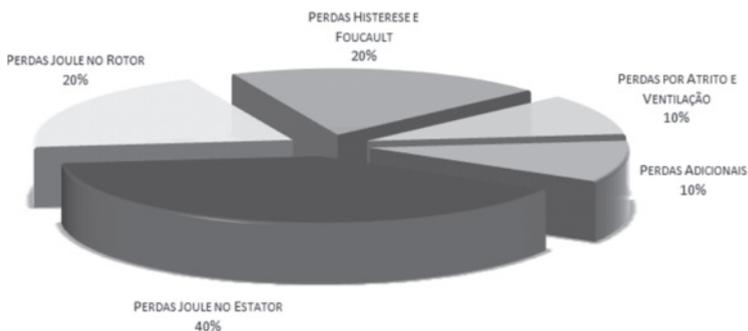


Figura 3.3 - Distribuição das perdas em um motor de indução trifásico

Fora das condições nominais, entretanto, a distribuição percentual das perdas é totalmente diferente, uma vez que o valor absoluto de cada componente das perdas totais varia significativamente. A Figura 3.4 mostra a evolução típica das perdas de um motor de 15 cv, de projeto padronizado, em função da potência mecânica fornecida em seu eixo.

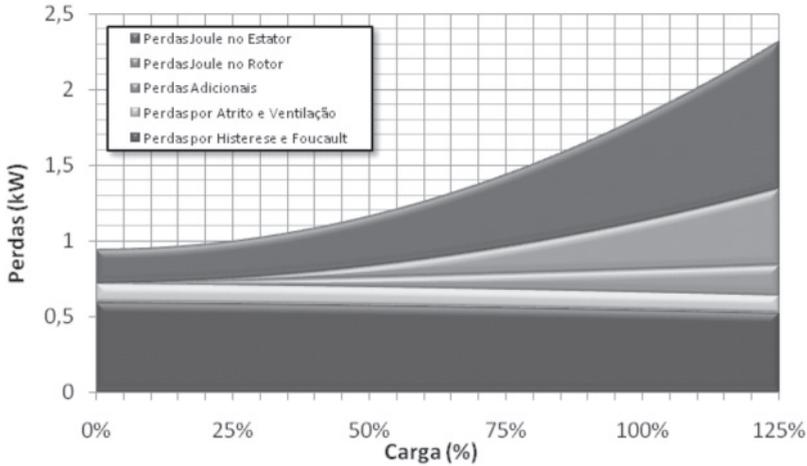


Figura 3.4 - Distribuição das perdas em função da carga

Observa-se que embora os valores percentuais das perdas variem ao longo da condição de carga, a soma das parcelas das perdas por histerese e Foucault, atrito e ventilação, e adicionais, permanecem praticamente constante, enquanto as perdas Joule no estator e rotor variam com o quadrado do carregamento. A Figura 3.5 mostra esta distribuição de forma percentual.

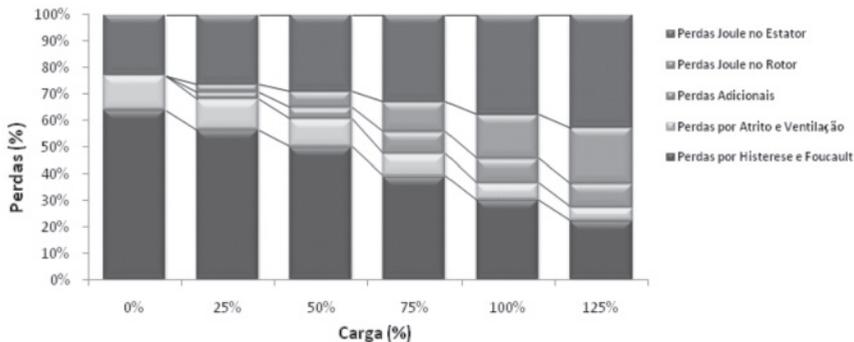


Figura 3.5 - Distribuição percentual das perdas em função da carga

Além da distribuição das perdas variar em função da carga, ela também varia

em função da potência do motor. Observa-se que na Figura 3.6 que para potências maiores, percentualmente, as perdas Joule são menores e as perdas por Histerese e Foucault são maiores do que para os motores de menores potências.

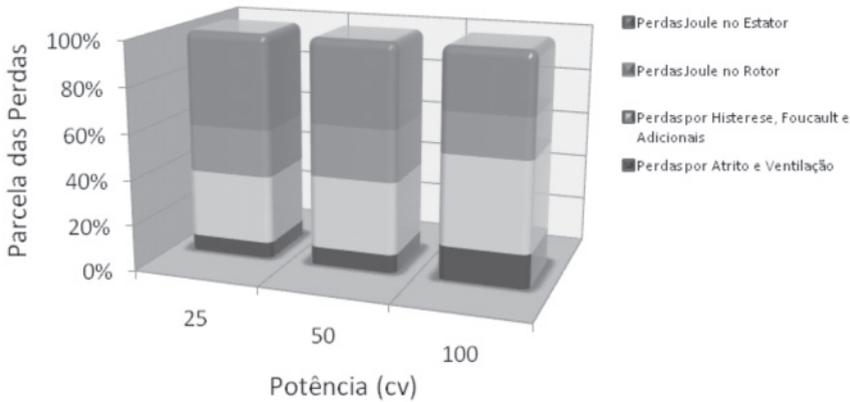


Figura 3.6 - Distribuição percentual das perdas nominais em função da potência do motor

3.3. MOTOR DE ALTO RENDIMENTO

Os motores de alto rendimento se apresentam como uma alternativa para a economia de energia em sistemas motrizes, muito embora não sejam as soluções definitivas para todos os problemas energéticos relacionados aos motores de indução, posto que são tão suscetíveis a fatores exógenos (condições do alimentador, método de partida, ambiente de trabalho, etc.) quanto os motores de projeto padronizado.

A principal característica destes motores é a melhoria em pontos vitais do motor onde se concentram a maioria das perdas. Como exemplo, pode-se citar o aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, incluindo o projeto otimizado das ranhuras, e o superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito Joule; diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de boa qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização; emprego de rolamentos adequados e otimização do projeto dos ventiladores para diminuir as perdas por atrito e ventilação; e, finalmente, regularidade do entre-ferro, melhoria no isolamento e tratamento térmico das chapas do estator e do rotor para reduzir as perdas adicionais. Estas medidas podem acarretar uma redução de até 30% das perdas, o que significa uma real economia de energia.

A norma NBR-7094 apresenta rendimentos mínimos para motores de projeto padronizado e motores de alto rendimento, para diversas rotações síncronas. A figura a seguir mostra uma representação gráfica destes valores.

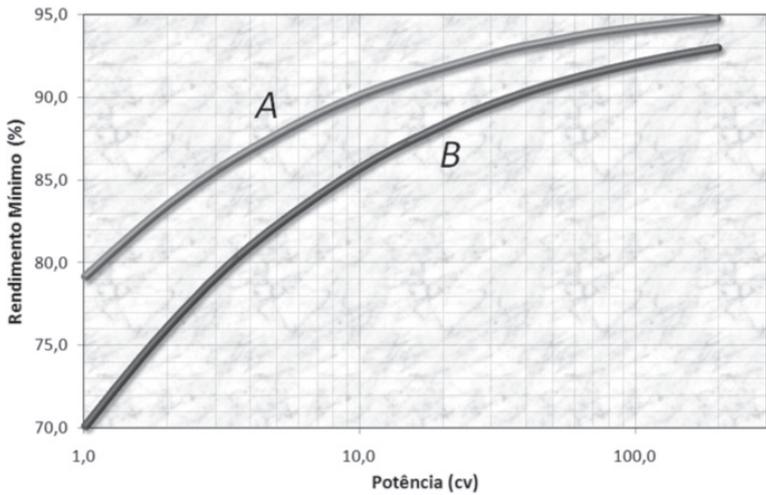


Figura 3.7 - Rendimentos mínimos de motores de acordo com a norma NBR-7094

A – Motores de alto rendimento; B – Motores de projeto padronizado

Um grande potencial de aplicação de motores de alto rendimento pode ser encontrado no acionamento de pequenas máquinas, muitas vezes colocadas à margem em estudos de eficiência energética, já que é comum imaginar que motores com potência inferior a 10 cv são pequenos demais para viabilizar a sua substituição. Porém, deve-se ter sempre em mente que estes motores contam com uma fatia de 85% dos motores instalados, contribuindo com cerca de 25% de todo o consumo industrial, e que a melhoria de eficiência em um motor de pequeno porte pode ser de 5 a 10 pontos percentuais, enquanto que este ganho para grandes motores é da ordem de apenas 2 a 4 pontos percentuais.

Cerca de dois milhões e quinhentos mil motores de indução trifásicos foram vendidos no mercado brasileiro nos últimos vinte anos. A Figura 3.8 mostra a distribuição percentual destes motores por faixa de potência. Nota-se que quase 90% dos motores vendidos se encontram entre 0 e 10 cv, justamente na faixa de potência onde se observam os maiores ganhos de rendimento nos motores de projeto eficiente.

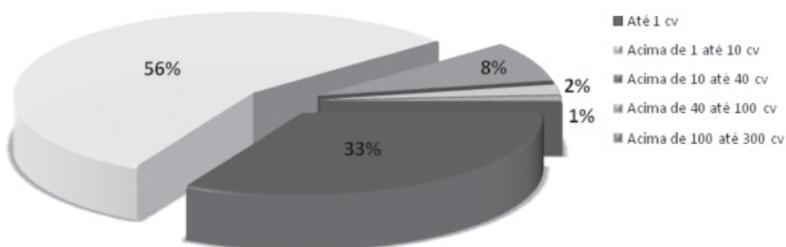


Figura 3.8 - Distribuição de motores vendidos por faixa de potência

Enquanto os motores com potência inferior a 10 cv contam com a maior parcela das unidades instaladas, os motores com potência superiores são os responsáveis pela maior parte da potência instalada. Por outro lado, a experiência mostra que apesar da economia por unidade de potência ser maior nos motores de menor potência, o tempo de operação e a potência instalada, viabiliza o uso de motores de alto rendimento também em substituição aos motores de projeto padronizado de maiores potências.

3.4. ANÁLISE DE CARREGAMENTO

A análise de desempenho de um motor pode ser realizada aplicando métodos normalizados ou não. Os métodos normalizados mais aplicados são os definidos pelas normas IEEE 112-B, IEC 34.2 e JEC 37 (Boglietti, 2003). Uma vez obtidas as curvas características dos motores, o rendimento de operação e carregamento pode ser encontrado em campo através de medições de corrente e velocidade.

Entretanto, em função de premissas adotadas em cada um destes métodos, os mesmos conduzem a valores diferentes de rendimento quando aplicados a um mesmo motor. A Figura 3.9 mostra o resultado da medição de rendimentos de motores de diversas potências através da aplicação de diferentes procedimentos normalizados (Andreas, 2003).

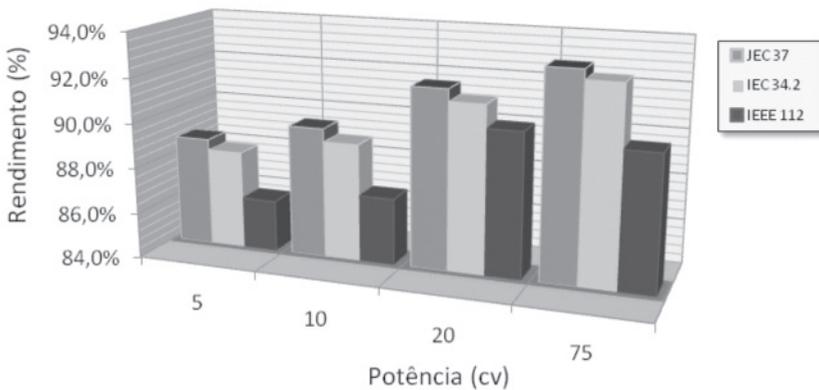


Figura 3.9 - Discrepâncias de resultados sob diferentes normas

Em geral, o problema da determinação das condições de operação de um motor tem sido reduzido a um problema de medição de rendimento. Uma vez que a aplicação de métodos normalizados em campo é impraticável, vários trabalhos trazendo novas modelagens, sistemas de medição e métodos não-normalizados para determinação de rendimento em campo têm sido apresentados.

A questão natural que se apresenta é: Se mesmo os métodos normalizados (os quais são aplicados em laboratórios em condições ambientais e elétricas controladas) conduzem a diferentes valores de rendimento quando aplicados a um mesmo motor, o que se pode dizer da exatidão de um método aplicado em campo?

Não há dúvida de que esta questão poderá ser resolvida em um futuro próximo, mas, por hora, se a premissa de que os motores de indução trifásicos são máquinas intrinsecamente eficientes for adotada, não há a necessidade de se obter o valor do rendimento em campo. É fato que um motor bem dimensionado irá trabalhar em sua melhor região de operação. Na verdade, o conhecimento do valor do rendimento é importante quando se deseja realizar análises econômicas de substituição de motores, reparo ou compra de um novo motor.

Sendo assim, o invés de usar métodos não-normalizados para se obter em campo um valor discutível do rendimento, o que se faz é determinar o Fator de Carregamento do motor para a sua pior condição de operação mais severa. Se o Fator de Carregamento for maior que 75%, o motor pode ser considerado adequado para o propósito a que se destina.

O Fator de Carregamento (F_C) pode ser facilmente estimado através de medições de campo usando as seguintes expressões.

$$F_C = \frac{n_t}{n_N} \cdot \frac{n_S - n_t}{n_S - n_N} \quad (3.1)$$

Ou,

$$F_C = \frac{2 \cdot I_t - I_0}{2 \cdot I_N - I_0} \quad (3.2)$$

Nestas expressões n é a rotação (rpm) e I é a corrente de linha (A). Os índices t , N , S e 0 significam trabalho, nominal, síncrona e em vazio, respectivamente. Tacômetros ópticos estroboscópicos e amperímetros alicate são os equipamentos ideais para a condução destas medições em campo.

Ambas as equações são baseadas em dados de placa e em valores medidos. Elas apresentam muito boa conformidade na região de operação entre 50% e 100% da plena carga. A primeira equação pode ser melhorada aplicando o quadrado da relação entre a tensão de trabalho e a tensão nominal, enquanto a aplicação da segunda expressão exige o conhecimento da corrente em vazio. Caso esta não possa ser medida, seu valor pode ser obtido, com boa aproximação, através da seguinte expressão:

$$I_0 (\%) = 56,93 + 14,53 \cdot \text{LN}(p) - 7,23 \cdot \text{LN}(P_N) \quad (3.3)$$

Onde I_0 é a corrente em vazio em percentagem da nominal, p é o número de pares de pólos do motor e P_N é a sua potência nominal em (cv).

Uma estimativa do rendimento de operação (%) pode ser feita com a medida da potência elétrica, P_E (kW) requerida da rede, usando um wattímetro alicate, através da seguinte expressão:

$$\eta = \frac{F_C \cdot 0,735 \cdot P_N}{P_E} \cdot 100 \quad (3.4)$$

Como afirmado anteriormente, se o fator de carregamento for maior que 75%, o motor poderá ser considerado adequado para a carga que aciona. Este valor foi escolhido baseado em diversos fatores, dentre os quais, por saber que o rendimento máximo de um motor não se encontra à plena carga, mas em algum ponto entre 80% e 90% de carregamento. Sendo assim, o rendimento a 75% de carga será praticamente o mesmo a plena carga. Adicionalmente, a adoção de um fator de segurança (não maior do que este!) é sempre bem-vindo.

Entretanto, um fator de carregamento menor que 75%, embora apresente indícios, não garante que o motor esteja sobre-dimensionado. A análise de carregamento concerne apenas ao regime permanente. Antes de se tomar uma decisão mais definitiva, devem-se realizar análises relacionadas ao regime transitório de partida e análise térmica.

3.5. ANÁLISE DO PROCESSO DINÂMICO

O sobre-dimensionamento de motores pode ocorrer na operação normal dos sistemas industriais quando, após a queima de um motor, o mesmo seja substituído por outro de maior potência. Entretanto, isto também pode ocorrer durante a fase de especificação de um novo motor, devido à falta de informações a respeito do comportamento dinâmico do motor ou da própria carga acionada.

Por outro lado, mesmo sabendo-se que um motor está sobre-dimensionado, a mesma falta de informação torna a tomada de decisão pela substituição de um motor mais adequado uma tarefa muito difícil, posto que, muitas vezes, o sobre-dimensionamento de um motor é uma real necessidade para a partida e aceleração de cargas de alta inércia e de alto conjugado resistente.

A questão é: O motor novo, de menor potência, será capaz de atender as necessidades do processo de partida?

O fato é que ninguém pode responder a esta questão com um nível mínimo de confiança sem o conhecimento das características dinâmicas da carga, que são o torque em função da velocidade e o momento de inércia.

Para resolver esta questão, apresenta-se a seguir um método para determinar as características dinâmicas da carga através do registro da velocidade do conjunto motor-carga após o desligamento do motor existente. A equação que governa o sistema dinâmico (Segunda Lei de Newton para o movimento curvilíneo) é:

$$M_M - M_C = \frac{2\pi}{60} \cdot J \cdot \frac{dn}{dt} \quad (3.5)$$

Onde M_M e M_C são os conjugados do motor e carga (Nm), respectivamente, J é o momento de inércia (kgm^2) e dn/dt é a taxa de variação da rotação (rpm/s).

A curva de conjugado da carga será considerada da seguinte forma:

$$M_C = K_1 + K_2 \cdot n^x \quad (3.6)$$

Onde K_1 (Nm) e K_2 ($\text{Nm} \cdot \text{rpm}^x$) são constantes e x representa a dependência do conjugado da carga com a velocidade.

O primeiro passo para a caracterização da curva de conjugado da carga é descobrir qual o valor de x . Quatro valores de x são considerados dependendo do tipo de carga. A Tabela 3.1 apresenta os valores de x e os tipos de carga associadas.

Tabela 3.1 - Valores de x e tipos de cargas associadas

x	Carga
0	Cargas constantes: guinchos, esteiras e bombas de deslocamento
1	Cargas lineares: compressor pistão
2	Cargas quadráticas: bombas, ventiladores e compressores centrífugos
-1	Cargas hiperbólicas: tornos, bobinadeiras e moendas

O segundo passo é determinar o momento de inércia, o que é feito usando a expressão (3.7) aplicada à curva velocidade-tempo no exato instante de desligamento, como apresentado a seguir.

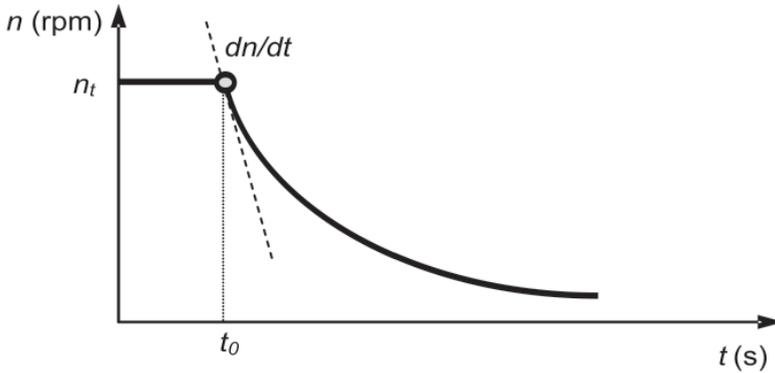


Figura 3.10 - Comportamento da velocidade do motor após desligamento

O momento de inércia do conjunto motor-carga pode ser obtido resolvendo a expressão (3.7), utilizando (3.1):

$$J = - \left(\frac{60}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{0,735 \cdot P_N}{n_N} \cdot \frac{(n_S - n_t)}{(n_S - n_N)} \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{dn}{dt} \Big|_{t=t_0^+} \right)^{-1} \quad (3.7)$$

Onde dn/dt é a taxa de variação da velocidade, a qual pode ser obtida gráfica ou numericamente, P_N é a potência nominal do motor (cv).

O terceiro passo é determinar os coeficientes K_1 e K_2 da curva do conjugado da carga. Isto é feito usando a mesma curva velocidade-tempo após o desligamento do motor, como mostrado na Figura 3.11.

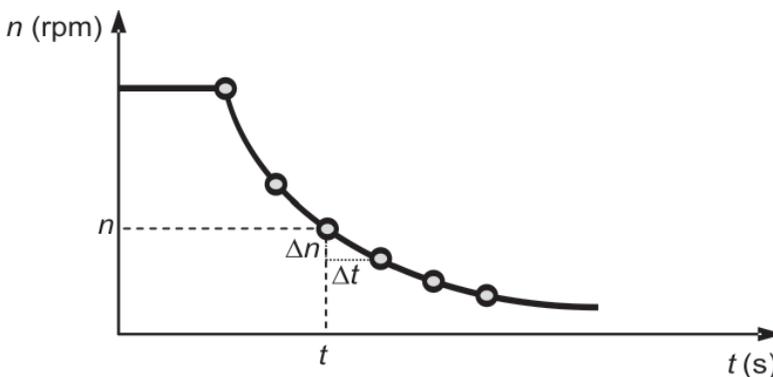


Figura 3.11 - Curva velocidade-tempo após desligamento do motor.

As equações (3.5) e (3.6) podem ser re-escritas para cada ponto da Figura 3.11. As derivadas podem ser substituídas por diferenças. Posto que o motor esteja desligado, seu conjugado é zero. O número de pontos da curva conduz a um sistema de equações a partir do qual os valores de K_1 e K_2 podem ser determinados usando, por exemplo, o método dos mínimos quadrados.

$$K_1 + K_2 \cdot n^x = -\frac{2\pi}{60} \cdot J \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (3.8)$$

Uma vez caracterizada a curva de conjugado da carga, pode-se calcular o tempo de partida para ambos os motores, existente e proposto. O cálculo do tempo de partida para o motor existente serve para validar o modelo de carga obtido. O tempo de partida é dado por:

$$t_p = \frac{2\pi}{60} \cdot J \cdot \int_0^{n_t} \frac{1}{M_M - M_C} \cdot dt = \frac{2\pi}{60} \cdot J \cdot I \quad (3.9)$$

A curva de conjugado do motor é obtida através de dados de fabricantes tais como conjugado de partida, conjugado máximo, conjugado nominal e conjugado nulo à rotação síncrona. Para o motor novo, a rotação de trabalho é estimada pela interseção da curva de conjugado do motor com a curva de conjugado da carga previamente determinada. Graficamente, a integral pode ser obtida calculando-se a área sob a curva da função $1/(M_M - M_C)$, como mostra a figura a seguir.

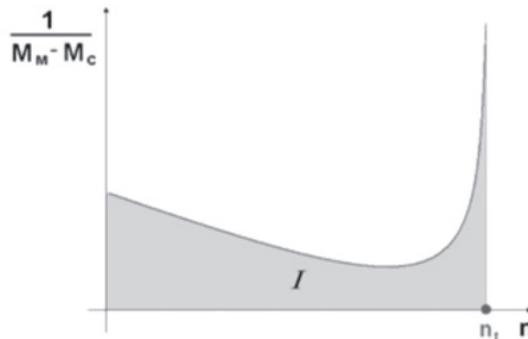


Figura 3.12 - Integração gráfica para o cálculo do tempo de partida.

Um tempo de partida para o motor proposto maior do que o seu tempo de rotor bloqueado indica que o motor proposto é incapaz de atender as necessidades do processo de partida, descartando a possibilidade da sua aplicação.

Por outro lado, um tempo de partida menor do que o tempo de rotor bloqueado não garante que o motor atual possa ser substituído pelo motor proposto já que existem regimes de operação. Sucessivas partidas e paradas, exigem o sobre-dimensionamento do motor por questões térmicas. Um procedimento simplificado para verificar o comportamento térmico de um motor é apresentado a seguir.

3.6. ANÁLISE TÉRMICA

O conhecimento de que um motor está operando com baixo fator de carregamento e com um tempo de partida muito aquém do seu tempo de rotor bloqueado são indicativos de sobre-dimensionamento, mas não são argumentos suficientes para declarar se um motor está ou não sobre-dimensionado. Além destes fatores, uma análise térmica sobre todo o regime de operação do motor se faz necessária.

O desenvolvimento de um modelo térmico completo é muito complexo. No entanto, um modelo simplificado, conservador, pode ser construído considerando que a elevação de temperatura é proporcional ao quadrado da corrente de operação. Por outro lado, a diferença de temperatura do motor em relação à do ambiente, aliada à rotação do motor, são as principais variáveis relacionadas à troca de calor.

Entretanto, considerando o motor como um corpo homogêneo, a elevação de temperatura sobre a temperatura ambiente ($\Delta\theta$) em um determinado período é resultado do somatório de duas componentes: uma componente crescente devido ao carregamento do período em análise, e outra componente decrescente da temperatura final do período anterior.

$$\Delta\theta = \Delta\theta_F \cdot (1 - e^{-t/T_A}) + \Delta\theta_0 \cdot e^{-t/T_A} \quad (3.10)$$

Onde $\Delta\theta_F$ (°C) é a elevação final de temperatura que, na condição de operação do período em análise, o motor alcançaria em regime permanente, $\Delta\theta_0$ (°C) é a elevação final de temperatura do período anterior, t (s) é a duração do período em análise, T_A (s) é a constante de aquecimento do motor. Os valores de $\Delta\theta_F$ e T_A são mostrados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Valores de $\Delta\theta_F$ e T_A

Período de operação	$\Delta\theta_F$ (°C)	T_A (s)
Partida	$\left(\frac{I_p}{I_N}\right)^2 \cdot \frac{n_N}{n_p} \cdot \Delta\theta_{LIM}$	Auto-ventilado: $(1,5 \text{ a } 2,5) \cdot T_{AR}$ Ventilação forçada: T_{AR}
Carga	$\left(\frac{I_t}{I_N}\right)^2 \cdot \frac{n_N}{n_t} \cdot \Delta\theta_{LIM}$	T_{AR}
Vazio	$\left(\frac{I_0}{I_N}\right)^2 \cdot \frac{n_N}{n_S} \cdot \Delta\theta_{LIM}$	T_{AR}
Parado	0	Auto-ventilado: $(1,5 \text{ a } 2,5) \cdot T_{AR}$ Ventilação forçada: T_{AR}

Nesta tabela, I_p é a corrente de partida (A), n_p é a rotação média na partida (rpm), T_{AR} é a constante de tempo nominal (s), obtida de fabricantes para cada carga de motor e número de pólos. $\Delta\theta_{LIM}$ é a máxima elevação de temperatura admissível pela classe de isolamento do motor.

3.7. O QUE FAZER COM MOTORES SOBREDIMENSIONADOS

Depois de aplicar as metodologias apresentadas, pode-se encontrar dois tipos de motores sobre-dimensionados: os motores que podem ser substituídos por outro de menor potência e aqueles cujo sobre-dimensionamento é uma real necessidade do processo devido ao ciclo de carga ou à requisitos de partida.

No primeiro caso uma análise de viabilidade econômica deve ser empregada para saber se o motor pode ser imediatamente substituído ou deve-se esperar a sua queima, para que a sua substituição seja realizada. A resposta à esta questão é bem simples: o motor sobre-dimensionado deve ser imediatamente substituído se a economia das perdas ao longo de sua vida residual for suficiente para pagar o motor novo, ou seja:

$$I_{NOVO} < T_R \cdot E \quad (3.11)$$

Onde I_{NOVO} é o custo de investimento no motor novo (\$), T_R é a vida residual do motor existente (anos) e E é a economia anual com a instalação de um motor melhor dimensionado, dado por:

$$E = 0,745 \cdot P_N \cdot \frac{n_t}{n_N} \cdot \frac{(n_s - n_t)}{(n_s - n_N)} \cdot H \cdot TE \cdot \left(\frac{100}{\eta_{Velho}} - \frac{100}{\eta_{Novo}} \right) \quad (3.12)$$

Onde H é o número de horas de operação por ano (h), TE é a tarifa da energia (\$/kWh), η_{Velho} e η_{Novo} são os rendimentos estimados de operação (%) dos motores velho e novo, respectivamente.

Uma vez que o motor velho ainda está operacional, pode-se usar seu valor residual para impulsionar a viabilidade econômica. Naturalmente, isto é válido quando o motor não for descartado, mas usado em outro acionamento mais adequado para explorar a sua capacidade nominal.

Por outro lado, quando o sobre-dimensionamento for uma real necessidade, deve-se buscar soluções tecnológicas. A redução da tensão de alimentação com a aplicação de eletrônica de potência ou pelo chaveamento da conexão dos enrolamentos do estator, têm se mostrado soluções econômicas quando o motor fica levemente carregado. Um levantamento experimental realizado mostra que, em geral, para um fator de carregamento menor do que 45%, a conexão estrela é energeticamente mais vantajosa do que a conexão triângulo (Ferreira, 2005).

O desligamento do motor é uma alternativa que deve ser considerada quando o motor trabalha em vazio. Juntamente com restrições térmicas e de perda de vida devido a partidas seqüenciais, o desligamento se torna interessante quando a energia consumida durante o processo de partida for menor do que o consumo de energia durante o período de operação em vazio. De maneira simplificada, o motor poderá ser desligado quando a seguinte expressão for verdadeira:

$$4 \cdot k_c \cdot \frac{t_p}{t_v} < 1 \quad (3.13)$$

Onde t_p é o tempo de partida, t_v período de operação em vazio, k_c é uma constante associada à categoria do motor. Seu valor pode ser 1,35; 2,00 ou 2,50, para motores de categoria D, H ou N, respectivamente.

3.8. ECONOMIA DE ENERGIA COM O USO DE CONTROLADORES DE VELOCIDADE

Ao se analisar a eficiência do motor de indução, percebe-se que o mesmo está inserido em um sistema onde o rendimento total do processo depende de cada uma de suas partes componentes. O uso racional dos recursos existentes, mediante

pequenos e médios investimentos, ou mesmo, através da adoção de medidas operativas, pode trazer grandes benefícios e reduzir substancialmente os gastos com energia.

Este é o caso típico do acionamento em bombas ou ventiladores. Atualmente, aproximadamente 63% das aplicações dos motores nas indústrias são destinadas à movimentação de fluidos. Nestes casos, o controle de velocidade dos motores, em substituição aos tradicionais métodos de controle de fluxo, permite otimizar e adequar as condições de operação, da bomba ou ventilador, para cada valor de vazão desejado, reduzindo perdas, ruídos e desgastes mecânicos.

Existem vários métodos de controle de velocidade, dentre os quais pode-se empregar inversores de frequência e controle de tensão para motores com rotor em gaiola, ou a cascata subsíncrona e variação da resistência rotórica no caso de motores de indução com rotor bobinado. Cuidados devem ser considerados com o nível de harmônicos gerados pelos sistemas de controle de velocidade, devendo-se utilizar filtros especiais nos casos mais críticos.

O controle de fluxo de fluidos em sistemas industriais, comumente é feito através do uso de válvulas de controle nas bombas e dampers nos ventiladores que, de fato, cumpriam esta tarefa à custa da inserção ou retirada de perdas de carga. Por outro lado, tais cargas centrífugas são regidas pelas chamadas Leis de Afinidade que estabelecem uma relação linear, quadrática e cúbica da vazão, pressão e potência, respectivamente, em relação à rotação.

Sendo assim, ao invés de controlar-se o fluxo através da ineficiente inserção de perdas, pode-se fazê-lo através do controle da velocidade de motores empregando inversores de frequência. Esta prática se constitui em um grande potencial de economia de energia, já que as cargas centrífugas respondem por mais de 60% das aplicações de motores na indústria.

A figura a seguir ilustra o chamado Campo Básico de uma bomba centrífuga, que mostra os rendimentos de operação da bomba no lugar geométrico representado no plano Pressão-Vazão, para cada rotação de trabalho. Gráficos semelhantes também podem ser obtidos para ventiladores.

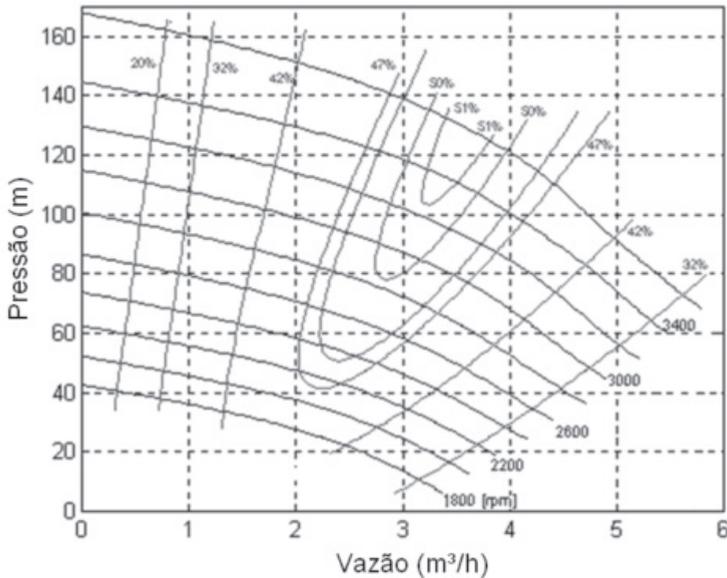


Figura 3.13 - Campo básico de uma bomba centrífuga

A potência elétrica demandada em cada ponto de operação é dada por:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot \eta_M \cdot \eta_B} \quad (3.14)$$

Onde P é a potência elétrica (kW), Q é a vazão (m³/h), H é a pressão (m), ρ é a massa específica do fluido (kg/m³), g é a aceleração da gravidade (m/s²), η_M é o rendimento do motor (pu) e η_B é o rendimento da bomba (%).

A economia obtida na operação com rotação variável em lugar do uso de válvulas de restrição pode ser visualizada na Figura 3.14. Para uma determinada vazão Q , ou opera-se com restrição de válvula, conduzindo ao ponto 1, ou opera-se com redução de velocidade, levando ao ponto 2.

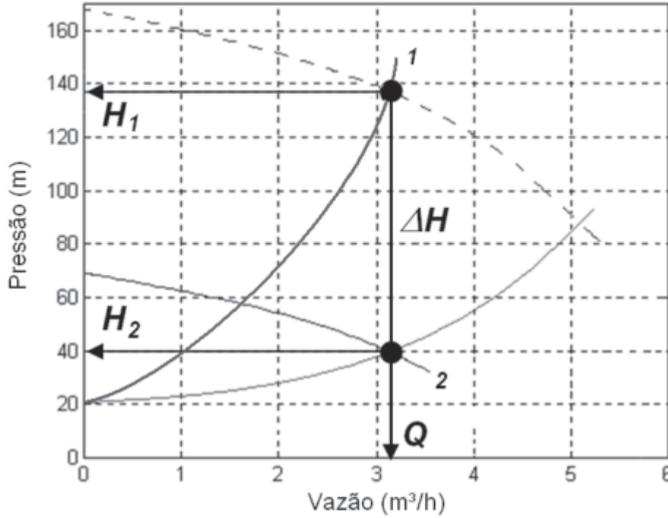


Figura 3.14 - Operação com válvula de estrangulamento (1) e com rotação variável (2)

Estes dois pontos correspondem a uma mesma vazão, porém com pressões diferentes, H_1 e H_2 . Por estar a uma pressão maior, o ponto 1 resultará em uma maior potência demandada em relação ao ponto 2, e, conseqüentemente, a um maior consumo de energia. A economia com o uso de um controle de velocidade em substituição de uma válvula, ΔE , é dada como uma função da parcela ΔH , ponderado pelo número de horas, t , que opera nesta condição.

$$\Delta E = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{3600 \cdot \eta_M \cdot \eta_B} \cdot t \tag{3.15}$$

Outra técnica também utilizada para controle de vazão utilizando válvulas é o sistema chamado recirculação. Neste sistema, a bomba opera 100% do tempo com vazão máxima, sendo que a parcela excedente à requerida pelo processo é simplesmente desviada e devolvida à sucção através de uma válvula by-pass, conectada imediatamente à saída da bomba. Este procedimento claramente se caracteriza como um processo ineficiente já que a bomba trabalhará com uma potência superior à requerida pelo processo.

Neste caso, a economia obtida com a operação da bomba em rotação variável, em lugar da operação da válvula by-pass, é dada pela eliminação da parcela de vazão desviada, podendo ser calculada através da seguinte expressão.

$$\Delta E = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta Q \cdot H}{3600 \cdot \eta_M \cdot \eta_B} \cdot t \tag{3.16}$$

3.9. CASO 1: SUBSTITUIÇÃO TECNOLÓGICA NA BUAIZ

3.9.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência com a substituição de motores elétricos na BuaiZ S.A. Indústria e Comércio, uma empresa do ramo alimentício localizada em Vitória / ES. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A4 com demandas contratadas iguais a 1.450 kW no horário fora de ponta e no horário de ponta.

3.9.2. Apresentação e objetivos

O caso da BuaiZ Alimentos representa uma das ações de eficiência energética mais representativas para aplicação na indústria. A substituição de motores antigos por novos com maior rendimento baseia-se na mudança tecnológica e no correto dimensionamento dos motores para suas aplicações.

Para selecionar os motores que representam potencial de economia na substituição é necessário conhecer as características de funcionamento no regime de operação e as especificações técnicas dos equipamentos.

Neste caso foram estudados 192 motores totalizando uma potência de 3.250 cv, com potência variando entre 3 e 125 cv e distribuídos conforme o gráfico abaixo.

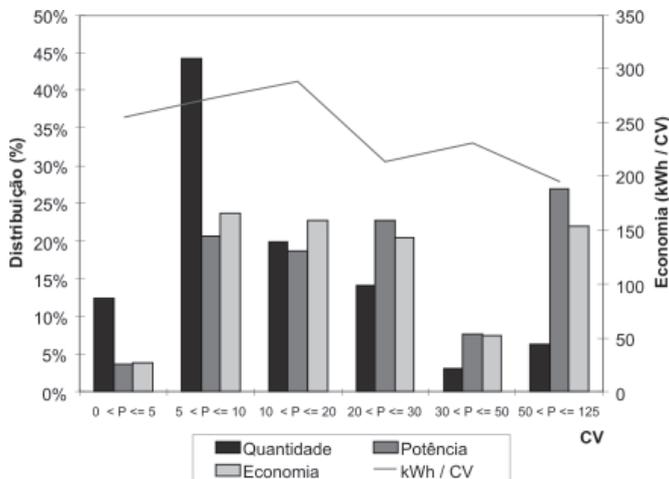


Figura 3.15 - Distribuição dos motores estudados

Nota-se que os motores entre 5 e 10 cv somam quase 45% da quantidade, porém representam 20% da potência instalada. Da mesma forma, os motores entre 50 e 125 cv são 6% em quantidade e 27% da potência instalada. Do ponto de vista da economia obtida com o aumento do rendimento do motor, os resultados mostram que apesar da economia por cv ser maior nas potências menores, as horas de operação e potência instalada compensam a economia de energia nos motores maiores.

Verifica-se que o correto dimensionamento dos motores está diretamente relacionado com a eficiência do uso da energia. Entretanto, para garantir o bom funcionamento e longevidade dos equipamentos instalados, mantendo a melhor relação rendimento versus tempo de operação, recomenda-se um cuidado especial na especificação dos motores como: grau de proteção, classe térmica, categoria, plano de pintura, vedações etc., já que, historicamente, grande parte das causas de falhas de motores elétricos está relacionada a problemas nas suas especificações.

Sendo assim, todo trabalho de avaliação dos motores para eliminação dos desperdícios de energia deve, necessariamente, conter uma avaliação do motor com relação às características da aplicação (ambiente de trabalho, processo e projeto da máquina acionada).

Além da análise da especificação dos motores, o estudo deve ser capaz de identificar aplicações problemáticas ou que possuam equipamentos de tecnologia ultrapassada e propor soluções que otimizem os custos e melhorem o processo, aumentando a produtividade e confiabilidade. Substituição de sistemas mecânicos de variação de velocidade e regulagem de vazão de bombeamento, por sistemas elétricos / eletrônicos, são alguns exemplos que podem ser objetos do estudo.

Um motor pode ser considerado bem dimensionado quando consome potência numa faixa entre 75% e 100% de sua potência nominal. Assim, após avaliações, um motor que esteja operando fora dessa faixa de carregamento é, em princípio, um candidato potencial a ser substituído por um motor melhor dimensionado.

Motores antigos e sobredimensionados que apresentam um histórico de várias queimas têm as perdas aumentadas. Normalmente também apresentam rendimentos abaixo dos motores atuais. Além de melhor rendimento, os motores atuais possuem melhores características de projetos construtivos que otimizam as distribuições térmicas garantindo um maior isolamento elétrico.

A metodologia proposta pela WEG para realizar este tipo de ação será apresentada a seguir.

3.9.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A metodologia aplicada para a implementação das medidas de eficiência energética em motores foi dividida em 5 etapas, que estão descritas abaixo:

Etapa 1 – Análise dos dados e definição dos motores potencialmente ineficientes: A partir dos dados de placa dos motores e das medidas de corrente em regime permanente do universo de motores de interesse no projeto, determinou-se os casos potenciais em função dos carregamentos calculados.

Etapa 2 – Visão geral dos processos: Para conhecer as variações de carga sobre os motores é importante levantar o regime de trabalho e a aplicação dentro dos processos de fabricação. Desta forma foi possível avaliar as condições de trabalho e fazer uma correta especificação, aumentando o tempo médio de utilização entre as falhas – MTBF (Medium Time Between Failure).

Etapa 3 – Diagnóstico das condições operacionais: No universo de equipamentos avaliados, a partir da análise dos dados e da visão geral dos processos, identificou-se os motores que estão sobredimensionados para atender as condições de carga em regime e/ou durante a partida, bem como os motores subdimensionados. Nesta etapa foram utilizados analisadores de energia para monitorar as curvas de carga para melhor dimensionar os motores elétricos em cada aplicação.

Etapa 4 – Substituição dos motores. Seguindo as orientações do estudo foram feitas modificações nas bases dos motores antigos para receber os novos na mesma potência ou com potência inferior. Durante a realização deste trabalho, o alinhamento é um fator fundamental a ser observado para reduzir perdas por atrito no acoplamento e para reduzir despesas com manutenção.

Etapa 5 – Medições para a avaliação de resultados. Da mesma forma que foram realizadas as medições antes da implementação, as medições com os novos equipamentos permite comparar os resultados obtidos pelo projeto.

3.9.4. Detalhes da implementação

Teoricamente, a energia elétrica economizada pela substituição de motores é a diferença do inverso dos rendimentos multiplicada pela potência mecânica e pelo tempo de operação. As considerações do carregamento no ponto de operação devem ser levadas em conta para determinar os parâmetros do fator de potência e o próprio rendimento.

Na prática, a forma de calcular a economia gerada pela substituição dos motores se dá pela comparação entre as medições do motor velho e do motor novo em uso. Considerando o tempo de utilização dos motores e o custo da energia é possível calcular a economia obtida.

Tomando como exemplo a medição realizada em um dos ventiladores sobredimensionados tem-se a curva de carga da figura abaixo de um motor padrão de 4 pólos com potência igual a 52 cv (38,3 kW).

Conhecendo a curva de corrente pelo carregamento do motor através de catálogos e os dados nominais, é possível se determinar o carregamento do motor pela medida da potência fornecida no ponto de operação.

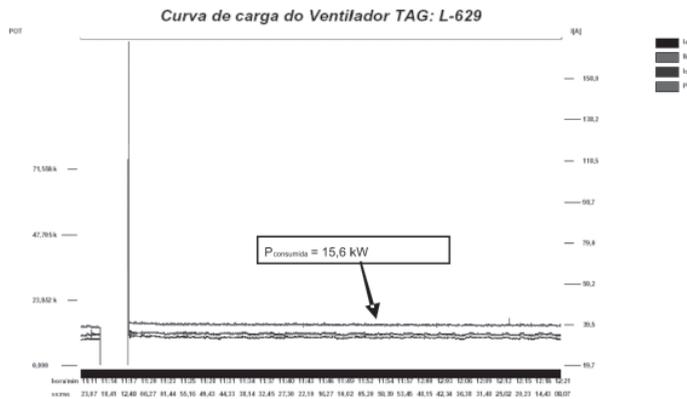


Figura 3.16 - Motor antigo de 38,3 kW – 4 pólos (ventilador L-629)

Desta forma, a partir da curva de carga do equipamento acionado, das informações do motor, mais o parecer do operador a respeito do processo, foi concluído que este motor está sobre dimensionado e foi sugerida a melhor solução técnica e econômica para a aplicação.

Neste caso a solução foi a repotenciação, com a instalação de um motor de 40 cv de alto rendimento com uma redução de aproximadamente 25% na potência instalada.

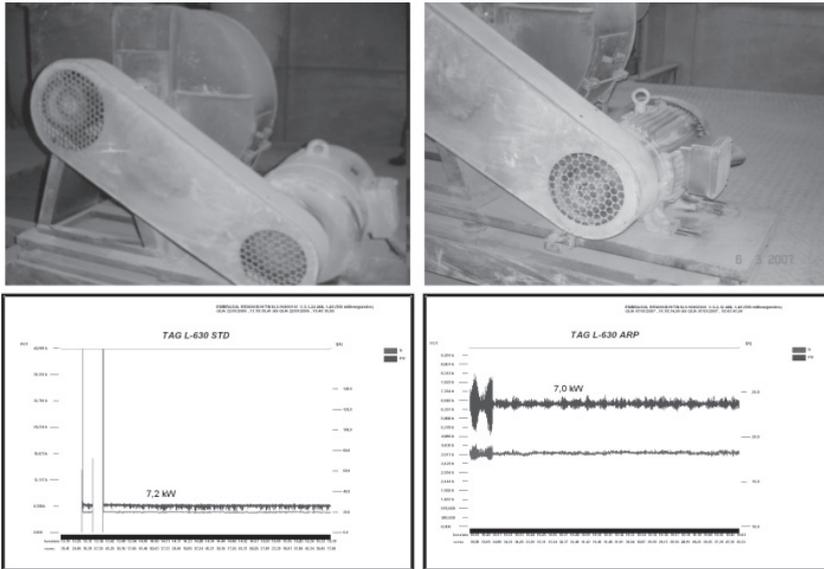


Figura 3.17 - Instalação e curva de carga do motor TAG L-630

O motor de 30 cv instalado na área de beneficiamento foi substituído por outro de 20 cv e resultou em uma economia de 9.950 kWh por ano.

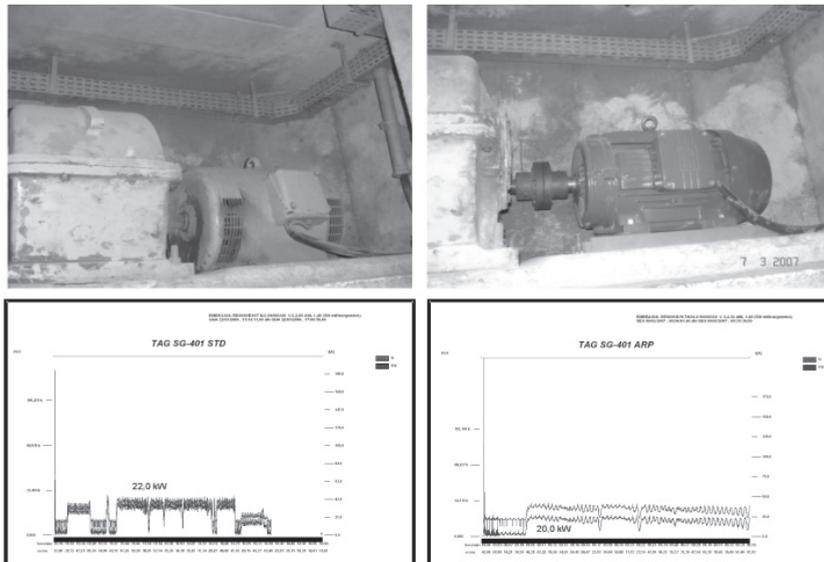


Figura 3.18 - Instalação e curva de carga do motor TAG SG 401

Em um dos silos, foi realizada a substituição do motor de 52 cv por outro de alto rendimento de 50 cv gerando uma economia de 4.135 kWh por ano.

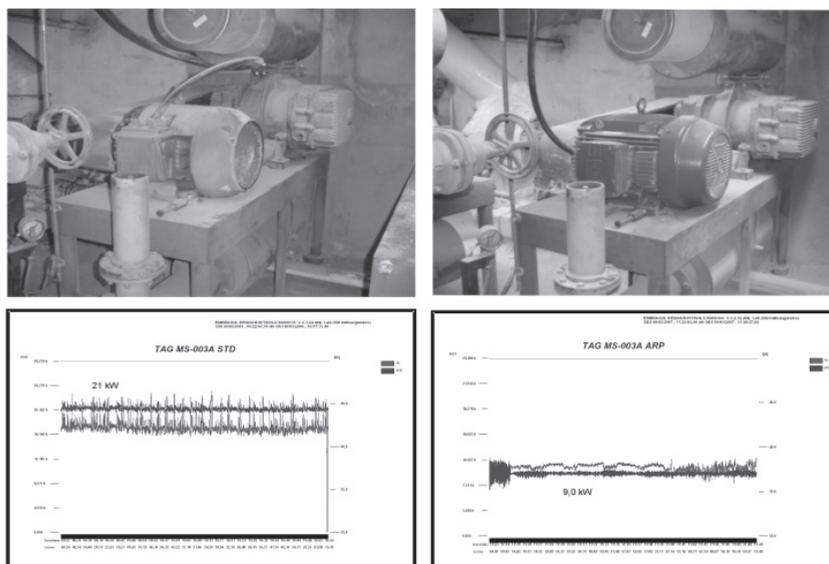


Figura 3.19 - Instalação e curva de carga do motor TAG MSS 003A

O motor padrão de 75 cv, instalado na área de transporte de produtos foi substituído por outro de alto rendimento na mesma potência, gerando uma economia de 16.760 kWh por ano.

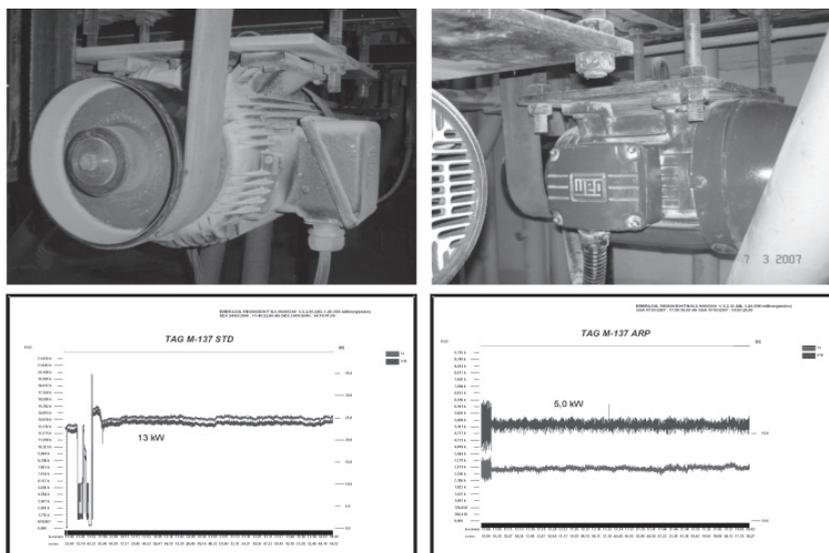


Figura 3.20 - Instalação e curva de carga do motor TAG M 137

O motor de 15 cv tipo padrão, instalado em outro moinho foi substituído por outro de alto rendimento, gerando uma economia de 7.500 kWh por ano.

3.9.5. Prazos e custos

Este trabalho realizado na forma de uma consultoria oferecida pela WEG teve um período de avaliação e estudos que levou 2 meses para ser concluído.

Na fase de substituição dos motores foi feita uma programação de trabalho aos finais de semana, de forma que não houvesse interrupção do processo produtivo. Assim, a instalação dos 179 motores durou 4 meses.

As despesas com instalação incluíram a mão-de-obra para substituições dos motores e os custos para realizar as modificações das instalações.

O investimento nos equipamentos foi de aproximadamente R\$380 mil para uma potência total de 2.868 cv.

3.9.6. Resultados e benefícios alcançados

As alterações sugeridas compreenderam a substituição de Motores Elétricos de Indução do tipo Standard por outros do tipo Alto Rendimento Plus. A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos neste projeto.

Tabela 3.3 - Resultados Obtidos

Sistema Atual	
Quantidade de motores	179
Potência (cv)	2920
Energia Consumida (MWh/ano)	7.150
Sistema Proposto	
Quantidade de motores	179 (192 estudados)
Potência (cv)	2868
Energia Consumida (MWh/ano)	6.411
Resultados Obtidos	
Redução de potencia (kW)	36,40
Energia Economizada (MWh/ano)	739
Retorno de Investimento	2 anos e 4 meses
Economia (%)	10,3

Nota: a tabela anterior contém somente os motores em que o retorno de investimento se enquadrou dentro dos parâmetros definidos pelas empresas em questão.

Outros benefícios gerados pelo estudo de engenharia de aplicação:

- Otimização da relação custo X benefícios dos motores
- Melhoria da disponibilidade e eficiência da planta através da identificação e atuação sobre os motores obsoletos e de difícil manutenção
- Garantia da eficiência no uso adequado da energia
- Identificação e adequação de motores com elevados custos de manutenção devido a freqüentes falhas em função da má especificação
- Redução das demandas de manutenção
- Disseminação do conceito / importância da correta especificação dos equipamentos

3.10. CASO 2: SUBSTITUIÇÃO POR ALTO RENDIMENTO E INVERSORES NA COCELPA

3.10.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência com a substituição de motores elétricos na Cocelpa – Companhia de Celulose e Papel do Paraná, uma empresa do ramo de Papel e Celulose localizada em Araucária / PR. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A4 com demandas contratadas iguais a 5.000 kW no horário fora de ponta e 4.000 kW no horário de ponta.

3.10.2. Apresentação e objetivos

As medidas para redução do desperdício e aumento da eficiência no uso de energia que foram implementadas na Cocelpa, estão divididas em suas áreas. A primeira refere-se ao aumento da eficiência pela substituição do motor padrão pelo alto rendimento e seu acionamento. A segunda refere-se à aplicação de inversores de freqüência, aplicados no acionamento de um filtro circular no processo de secagem, instalados na máquina de papel e outro no motor da bomba de captação.

Foram estudados 28 motores entre bombas, ventiladores e filtros, com potência de 30 cv até 350 cv que funcionam praticamente 24 horas por dia. A figura a seguir apresenta estes motores.

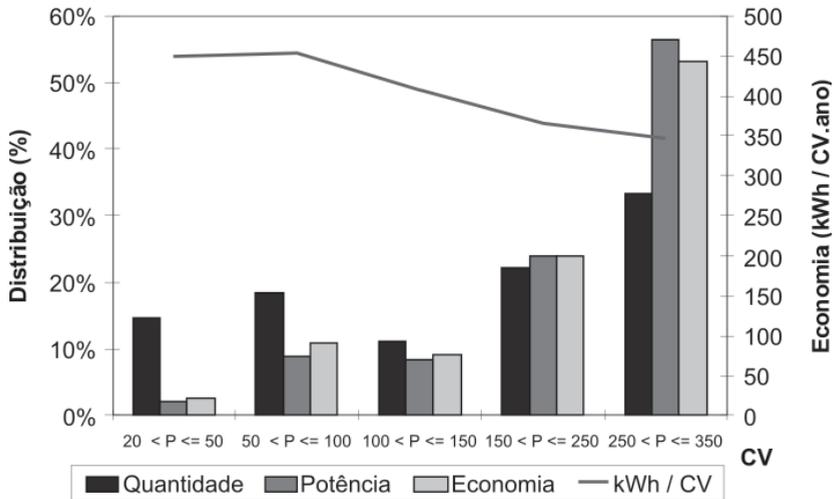


Figura 3.21 - Motores estudados

O estudo de viabilidade mostrou que o tempo de retorno do investimento seria de um ano e nove meses para todos os motores. Foi optado por substituir um grupo de sete motores numa primeira etapa de implementação, totalizando 1600 cv. Exceto um motor, que foi substituído por potência menor, todos os outros tiveram a potência mantida.

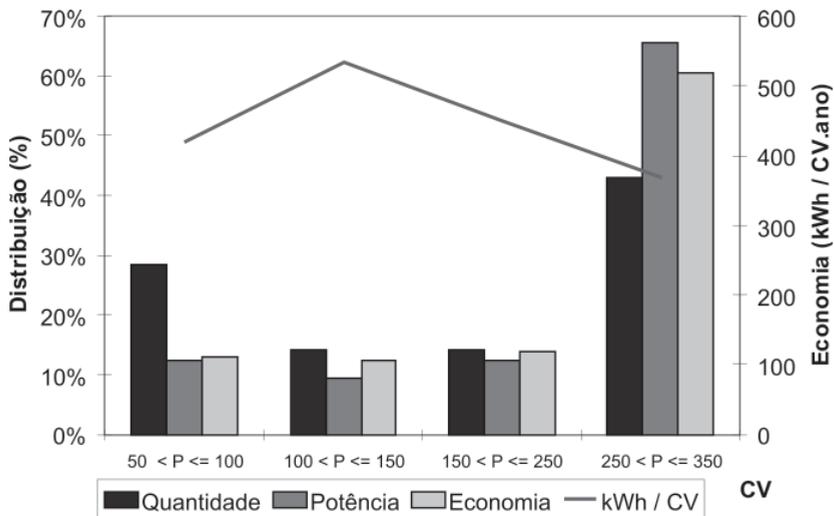


Figura 3.22 - Motores substituídos

Pelas informações dos cálculos dos motores que foram substituídos, o resumo da economia energética obtida, mostra que os motores de maior potência contribuíram com a maior parte da economia.

3.10.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A metodologia usada neste trabalho contou com uma fase de estudos preliminares de viabilidade, sendo escolhido um grupo de motores que possuía regime operacional constante e que, pelo ano de fabricação, indicavam uma relação de peso por kW alta, ou seja, os motores mais antigos apresentavam rendimentos inferiores, portanto foram os principais candidatos para substituição tecnológica.

As observações do processo também indicaram as possibilidades de aplicações de inversores de frequência onde havia necessidade de variação de fluxo. Neste sentido, foram escolhidos alguns acionamentos para serem substituídos, reduzindo assim, o índice de falhas para serviços de manutenção e perdas de produção.

3.10.4. Detalhes da implementação

Entre os motores que foram substituídos por outros de alto rendimento está a bomba da caldeira de recuperação, mantendo a potência de 250 cv.

A figura mostra um motor semelhante ao que foi substituído ao fundo e o motor atual, de alto rendimento, à frente.

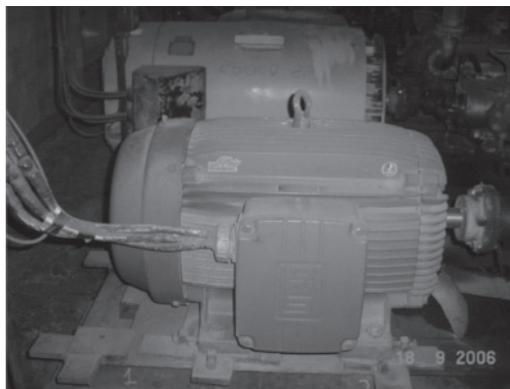


Figura 3.23 - Bomba da caldeira de recuperação

O outro motor substituído foi o do acionamento do exaustor de tiragem do forno de cal, com potência de 350 cv.

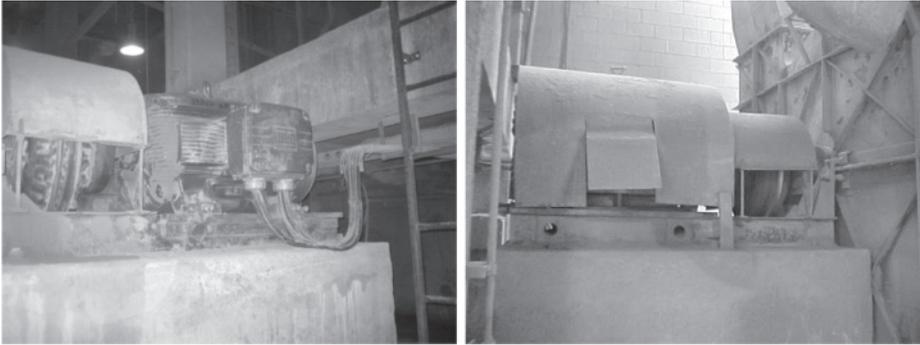


Figura 3.24 - Exaustor do forno de cal

Os filtros circulares existentes numa máquina de produção de papel tem a função de retirar a umidade da massa de celulose no processo. Isto ocorre através da passagem de um fluxo de ar por dentro dos cilindros perfurados, que estão em contato com esta massa e retiram a água pelo vácuo feito no seu interior.

O acionamento destes filtros necessita de um controle de velocidade e torque que é feito por uma caixa de redução de velocidades acoplada ao eixo do motor. O controle de velocidade é realizado mecanicamente através de uma alavanca que pressuriza o óleo para dentro do acoplamento hidráulico (5). O acoplamento do reductor de velocidade ao eixo do filtro é feito por correias (6).

O conjunto do acionamento tem uma proteção (1) sobre a carcaça do motor para reduzir a contaminação interna. A refrigeração do acoplamento hidráulico é feita com água que fica armazenada num reservatório (3) e circula pela tubulação lateral (4). Já a lubrificação do acoplamento hidráulico é feita com óleo que fica armazenado em outro reservatório acima (2).

Na intervenção sobre este equipamento, foi proposta a substituição do controle de velocidade mecânico por inversor de frequência e a utilização de um motor da linha alto rendimento WELL com maior proteção contra agentes externos, como contaminantes e água.

Um fator decisivo para esta aplicação foi a eliminação do uso de óleo para o acionamento no local, evitando assim, contaminações do efluente. A confiabilidade operacional do equipamento na nova situação evitou paradas não programadas.

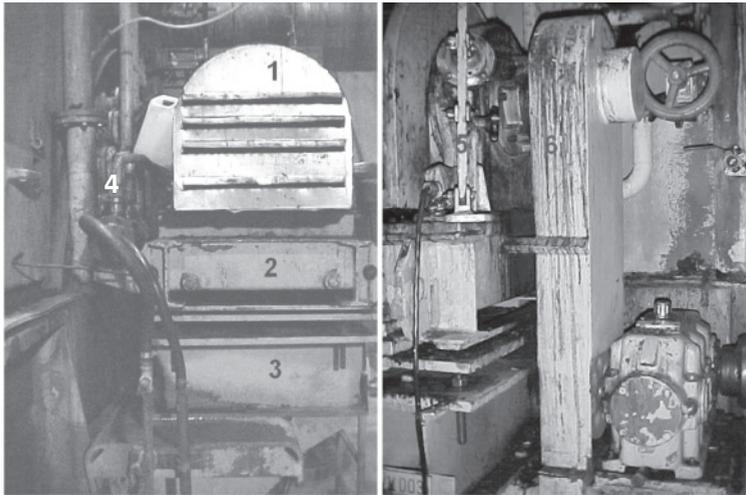


Figura 3.25 - Acionamento dos Filtros antes da implementação

O bombeamento de água no ponto da captação na situação original era realizado sem controle do volume captado, havendo um volume excedente que retornava ao rio por uma tubulação chamada de recirculação. Este volume captado a mais significava um desperdício de energia que poderia ser evitado com a instalação de um controle da vazão.



Figura 3.26 - Bomba de Captação

Nesta situação, também foi proposta a aplicação do inversor de frequência com o motor de alto rendimento.

3.10.5. Prazos e custos

A fase de estudos de engenharia, para a substituição dos motores, levou 45 dias incluindo o período de medições em campo e a avaliação dos dados.

A implementação da obra foi programada em etapas de acordo com os equipamentos e valores de investimento envolvidos.

Os custos com mão-de-obra são os custos de mercado, e o investimento na compra dos equipamentos foi de aproximadamente R\$380 mil, relativa a uma potência total de 1475 cv.

3.10.6. Resultados e benefícios alcançados

As alterações sugeridas compreendem a substituição de motores elétricos de indução, tipo padrão, por outros de alto rendimento. Os resultados gerais esperados estão resumidos na tabela a seguir.

Tabela 3.4 - Resultado global esperado

Sistema Atual	
Quantidade de motores	07
Potência (cv)	1600
Energia Consumida (MWh/ano)	11.155
Sistema Proposto	
Quantidade de motores	07
Potência (cv)	1475
Energia Consumida (MWh/ano)	9.961
Resultados Esperados	
Redução de potencia (kW)	95,44
Energia Economizada (MWh/ano)	1.194
Retorno de Investimento	1 ano e 8 meses
Economia (%)	10,7

Nota: a tabela contém somente os motores em que o retorno do investimento se enquadrou dentro dos parâmetros definidos pelas empresas em questão.

Outros benefícios gerados pelo estudo de engenharia de aplicação:

- 1) Otimização da relação custo X benefícios dos motores;
- 2) Melhoria da disponibilidade e eficiência da planta através da identificação e atuação sobre os motores obsoletos e de difícil manutenção;

- 3) Garantia da eficiência no uso adequado da energia;
- 4) Identificação e adequação de motores com elevados custos de manutenção devido a freqüentes falhas em função da má especificação;
- 5) Redução das demandas de manutenção;
- 6) Disseminação do conceito / importância da correta especificação dos equipamentos.

3.11. CASO 3: CONTROLE DA VELOCIDADE DE VENTILADORES NA SANTHER

3.11.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência com o uso de inversores de frequência na Fábrica de Papel Santa Therezinha S.A. (SANTHER), uma empresa do ramo de Papel Sanitário localizada em Governador Valadares / MG. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A4 com demandas contratadas iguais a 4.950 kW no horário fora de ponta e no horário de ponta.

3.11.2. Apresentação e objetivos

A Fábrica de Papel Santa Therezinha (SANTHER) está localizada na cidade de Governador Valadares, região leste de Minas Gerais e ocupa uma área construída de cerca de 21.000 m², onde foram desenvolvidos os trabalhos.

A indústria do ramo de atividade de fabricação de papéis para fins sanitários, produz em média 2.180 t/mês com um consumo específico médio de 1.250 kWh/t e um perfil de utilização da energia elétrica com fator de carga médio de 0,83.

O empenho da diretoria da SANTHER e a garantia da disponibilização do recurso financeiro pela CEMIG / EFFICIENTIA para a implementação das medidas identificadas, através de Contrato de Desempenho, foram os principais fatores que influenciaram a proposição do projeto.

Em estudos de pré-avaliação feitos na indústria por profissionais da CEMIG / EFFICIENTIA, acompanhados dos técnicos da SANTHER, foram detectadas oportunidades de eficientização de alguns processos industriais referentes ao insuflamento de ar nas máquinas de papel, o que era feito por ventiladores centrífugos e que poderiam ter uma variação de velocidade e vazão.

Desta forma, o projeto teve como objetivo, fazer a instalação de três inversores de frequência para o acionamento dos ventiladores das máquinas de papel, visando a redução da demanda e do consumo de energia, com a conseqüente redução do consumo específico na modalidade de Contrato de Desempenho.

As principais metas e benefícios do projeto foram a redução da demanda em cerca de 58 kW no horário de ponta e uma economia de energia anual de cerca de 473 MWh. Outros ganhos não quantificáveis estão relacionados às melhorias na eficiência do processo de insuflamento de ar nas máquinas de papel, que têm relação direta com a produtividade das mesmas e qualidade do produto.

No projeto também foi prevista uma fase de aferição dos resultados, acompanhada por uma equipe da CEMIG / EFFICIENTIA, com um prazo determinado no Contrato de Desempenho no Programa de Eficiência Energética da ANEEL, ciclo 2002/2003.

3.11.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

Após a avaliação inicial na empresa, onde foi identificado o potencial de eficiência energética, o projeto seguiu com as cinco etapas detalhadas e comentadas abaixo:

Etapa 1: Detalhamento e especificação dos Inversores de Frequência. Nesta etapa foram detalhados os trabalhos de pré-avaliação conduzidos durante a realização do diagnóstico energético, com foco nos motores identificados como passíveis de utilização dos inversores de frequência. Também foram realizadas medições elétricas específicas de maior duração e confiabilidade para capturar informações que permitiram especificar os inversores mais adequados para cada caso.

Etapa 2: Aquisição dos Inversores de Frequência. Esta etapa foi dedicada à seleção da empresa fornecedora ou fabricante, que através de um processo de concorrência forneceu os três inversores de frequência.

Etapa 3: Instalação dos Inversores de Frequência. Após a aquisição dos inversores, esta etapa previu a instalação dos equipamentos, incluindo desmontagem e montagem dos conjuntos, acessórios e componentes eletrônicos, além de apoio consultivo e "start-up" dos novos sistemas.

Etapa 4: Avaliação dos resultados. Os resultados da utilização dos inversores de frequência foram avaliados nesta etapa, através da comparação entre os valores de consumo e demanda, medidos antes e após a instalação.

Etapa 5: Promoção. Nesta etapa foi prevista a divulgação do trabalho e seus resultados em seminários, encontros e congressos sobre o tema Eficiência Energética em todo o país, com a distribuição de material promocional específico (folders) e palestras técnicas.

3.11.4. Detalhes da implementação

As análises preliminares, apoiadas por medições específicas, indicaram a viabilidade técnica e econômica da instalação de três inversores de frequência nos seguintes motores:

- Motor de 150 cv do ventilador 01, da Máquina de Papel 6;
- Motor de 125 cv do ventilador 02, da Máquina de Papel 6;
- Motor de 125 cv do ventilador 01, da Máquina de Papel 7.

Estes motores estavam acoplados diretamente a ventiladores centrífugos, responsáveis pelo insuflamento de ar nos extremos úmido (ventiladores 01) ou seco (ventilador 02) da “capota” das Máquinas de Papel 6 e 7, conforme mostrado no croquis.

O desenho representa o sistema de insuflamento de ar da Máquina de Papel 6, onde o ventilador 01 de 150 cv estava destacado, e o ventilador 02 de 125 cv, localizado em posição oposta.

No caso da Máquina de Papel 7, cuja configuração básica pode ser representada por croquis semelhante, o ventilador 01 ocupava a mesma posição daquele correspondente na Máquina de Papel 6, porém com potência nominal de 125 cv. Já o ventilador 02 desta máquina não apresentou, nos estudos de pré-avaliação, viabilidade para a utilização de inversor de frequência.

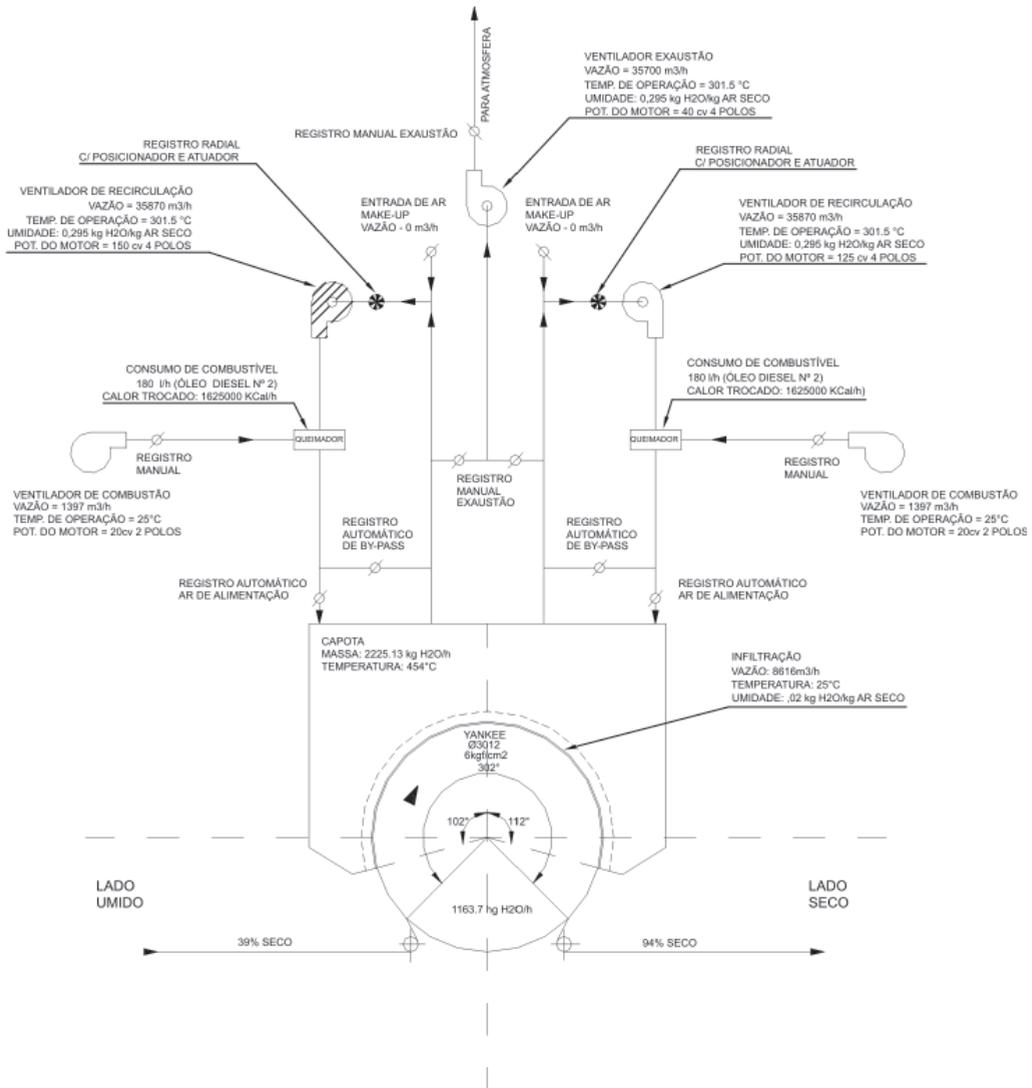


Figura 3.27 - Esquema da Máquina de Papel 6

Para o cálculo das metas de economia de energia e deslocamento de demanda do horário de ponta, algumas premissas foram consideradas:

- As análises e medições conduzidas nos trabalhos de pré-avaliação indicaram a possibilidade de utilização de inversores de frequência apenas nos três motores mencionados;
- Nestes casos, o controle da vazão de ar insuflado era realizado através de registros radiais (dampers) com posicionador e atuador, que "estrangulam" a passagem do ar, inserindo uma perda de carga elevada no sistema;

- Os percentuais de fechamento destes registros foram considerados proporcionais à vazão de ar passada, segundo as anotações realizadas pelos técnicos da SANTHER que controlavam este processo;
- Para fins de análise de viabilidade da utilização do inversor de frequência, foi tomada como base de cálculo a rotação média requerida pelos ventiladores na nova situação, ou seja, a rotação reduzida na mesma proporção da redução da vazão de ar, quando funcionando com a abertura integral do registro (damper) existente;
- Sendo os ventiladores centrífugos considerados “máquinas de fluxo”, a razão entre as vazões varia na mesma proporção da razão de rotações, porém a potência varia na proporção da razão de rotações ao cubo;

Com base nestas premissas, foram calculados os seguintes parâmetros e estimados os ganhos que seriam obtidos com a modificação, mantendo-se a vazão de ar próxima de 35.870 m³/h.

Tabela 3.5 - Ventilador 01 da Máquina de Papel 6

	Situação atual	Situação proposta	Economia
Potência nominal	150 cv	150 cv	
Potência medida	70 kW	50,7 kW	19,3 kW
Rotação de trabalho	1.790 rpm	1.431 rpm	
Horas de operação	680 h/mês	680 h/mês	
Consumo mensal	47.583 kWh/mês	34.476 kWh/mês	13.107 kWh/mês

Tabela 3.6 - Ventilador 02 da Máquina de Papel 6

	Situação atual	Situação proposta	Economia
Potência nominal	125 cv	125 cv	
Potência medida	52,8 kW	50,4 kW	2,4 kW
Rotação de trabalho	1.790 rpm	1.427 rpm	
Horas de operação	680 h/mês	680 h/mês	
Consumo mensal	35.912 kWh/mês	34.272 kWh/mês	1.640 kWh/mês

Tabela 3.7 - Ventilador 01 da Máquina de Papel 7

	Situação atual	Situação proposta	Economia
Potência nominal	125 cv	125 cv	
Potência medida	82,2 kW	45,9 kW	36,3 kW
Rotação de trabalho	1.785 rpm	1.376 rpm	
Horas de operação	680 h/mês	680 h/mês	
Consumo mensal	55.917 kWh/mês	31.212 kWh/mês	24.705 kWh/mês

Assim, os resultados esperados foram de uma redução média total de demanda igual a 58 kW e a redução no consumo de energia de 473,42 MWh/ano.

Os resultados advindos da implementação dos inversores de frequência foram utilizados para a amortização dos investimentos feitos pela CEMIG / EFFICIENTIA, conforme o Contrato de Desempenho.

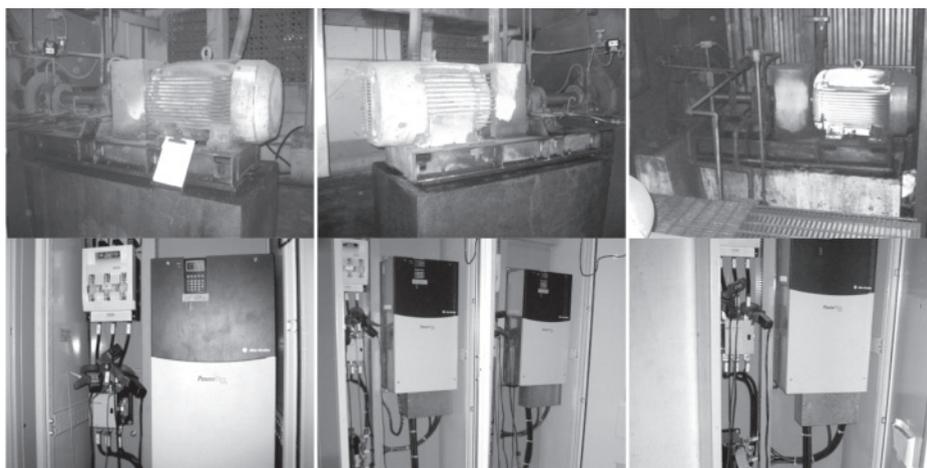


Figura 3.28 - Motores dos ventiladores das máquinas de papel

Tabela 3.8 - Especificação dos inversores usados

Características / Parâmetros	Especificações Orientativas
Fabricante	Allen-Bradley
Modelo	Power Flex 700
Potência Nominal (Motor) - Ventilador 01 da MP-6 (Lado úmido)	150 cv (121,2 kW / 137,8 kVA na linha) – In=180 A (440V)
Potência Nominal (Motor) - Ventilador 02 da MP-6 (Lado seco)	125 cv (101,1 kW / 116,2 kVA na linha) – In=156 A (440V)
Potência Nominal (Motor) - Ventilador 01 da MP-7 (Lado úmido)	125 cv (101,1 kW / 116,2 kVA na linha) – In=156 A (440V)
Tensão Nominal e tolerâncias	Faixa 380 a 500V +/-10%
Frequência de entrada	47 a 63Hz
Fator de Potência	0,98 mín.
Temperatura de trabalho	0 a 50°C
Grau de Proteção	IP-20 (min.)
Refrigeração	Forçada (ventilador interno)
Frequência de Saída	0 a 400 Hz
Resolução da Frequência de Saída	0,01 Hz
Método de Controle	V/f (escalar) (possibilidade de utilização de sinal de transdutor ou controle via potenciômetro)
Entradas digitais	3 (> 7,5V = nível alto)
Entradas Analógicas	1 (4 a 20mA)
Saída a Relé	1 (normalmente aberto)
Capacidade de Sobrecarga	1,5 x In (1 minuto)
Comunicação	RS-485
Proteções	Curto-circuitos / sobrecarga / sobretemperatura / sobretensão
Expectativa de manobras (mínima)	100.000
Eficiência do Inversor	97%
Tipo de acionamento	Ventilador / Conjugado quadrático
EMC	Proteção industrial
Altitude	< 1000m

3.11.5. Prazos e custos

Os custos diretos do projeto totalizaram R\$ 122.487,14 e incluiu: materiais e equipamentos, mão-de-obra própria de 152 horas, mão-de-obra de terceiros para montagem, instalação e especificação de compra dos inversores, taxa de administração, transporte e custeio de viagens do pessoal próprio abrangendo hospedagem e alimentação.

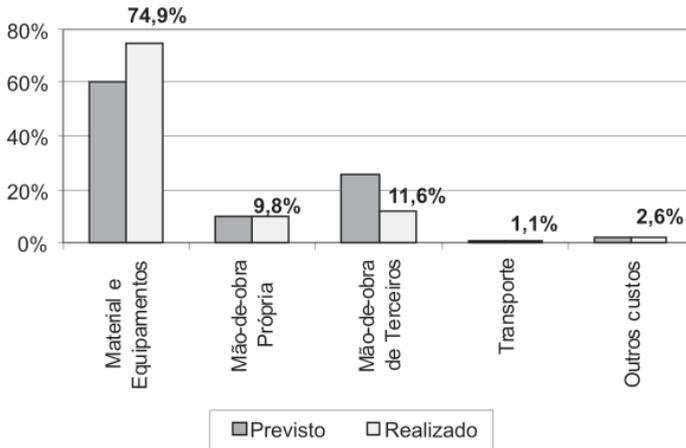


Figura 3.29 - Custos diretos e indiretos do projeto

O cronograma do projeto mostra suas fases de desembolso dos recursos próprios e uma comparação do que foi previsto e realizado ao final da obra. O atraso percebido no projeto ocorreu por necessidade da espera de uma parada programada no processo produtivo para a instalação dos equipamentos, o que ocorreu em novembro de 2004.

Tabela 3.9 - Cronograma do projeto

Etapas		Meses																							
		Ab	Ma	Jn	Jl	Ag	Se	Ou	No	De	Ja	Fe	Mç	Ab	Ma	Ju	Jl	Ag	Se	Ou	No	De	Ja		
Detalh. Espec. Inversores Freq.	Previsto																								
	Realizado																								
Licitação Aquisição Inversores Freq.	Previsto																								
	Realizado																								
Instalação dos Inv. Frequencia	Previsto																								
	Realizado																								
Avaliação dos resultados	Previsto																								
	Realizado																								
Promoção	Previsto																								
	Realizado																								

3.11.6. Resultados e benefícios alcançados

Os resultados foram avaliados com base na comparação entre as medições elétricas dos ventiladores, realizadas durante o diagnóstico energético (previsto na etapa 1), e aquelas realizadas após a instalação dos inversores de frequência confirmando os valores previamente estimados.

Conforme apresentado na tabela abaixo, o ventilador 1 da máquina de papel 6 funcionava na situação anterior com potência de 52,8 kW com o damper 80% aberto. Na situação proposta, a mesma vazão de ar seria mantida no insuflamento com uma potência de 50,4 kW com o damper totalmente aberto e com o ventilador numa rotação de 47,5 Hz. No entanto, após vários testes realizados com o novo controle de velocidade do ventilador, operacionalmente foi notado que o processo era melhorado com o aumento da vazão, provocando um melhor descolamento do papel do cilindro do “monolúcido” na máquina. Logo, a situação operacional priorizou o processo de fabricação, necessitando assim de uma potência maior do ventilador.

Seguindo o mesmo raciocínio para os ventiladores 2 das máquinas 6 e 7, nota-se que a redução de potência foi inferior à proposta, porém, ainda menor que no início.

Tabela 3.10 - Resumo das medições e funcionamento dos ventiladores

	Situação anterior	Situação proposta	Situação operacional
Ventilador 1 MP6	Potência 52,8 kW Damper 80% aberto	Potência 50,4 kW Frequência 47,5 Hz	Potência 55,4 kW Frequência 51 e 59 Hz
Ventilador 2 MP6	Potência 70 kW Damper 80%	Potência 50,7 kW Frequência 47,7 Hz	Potência 68,5 kW Frequência 51 e 59 Hz
Ventilador 2 MP7	Potência 82,2 kW Damper 77%	Potência 45,9 kW Frequência 45,9 Hz	Potência 57,9 kW Frequência 51 e 59 Hz

A consequência dessa melhoria no processo foi que a economia projetada em demanda e consumo de energia elétrica, não foi verificada em sua totalidade na época, porém, mesmo com os novos valores, foi mantida a viabilidade do projeto, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 3.11 - Resultados obtidos

	Metas	
	Previstas	Realizadas
Realização Física	100 %	100%
Energia Economizada (MWh/ano)	589,42	166,61
Demanda Retirada da Ponta (kW) ano	58	23
Custo Total	122.487,14	122.043,03
Custo Anualizado	21.678,28	21.599,68
Benefício Anualizado	56.842,75	31.614,40
RCB	0,38	0,68

BIBLIOGRAFIA ACIONAMENTOS

E.C. Bortoni; A.H.M. Santos; "Acionamentos com motores de indução trifásicos" in Haddad, J. *et alii*; "Conservação de energia - Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos", 2ª Edição, Procel/Eletróbrás, 2006, pp. 36-41.

J. Hurst; "Raising the standard for electric motor efficiency". InTech, April 2007, pp 30-34.

A. Boglietti, A. Cavagnino, M. Lazzari and M. Pastorelli, "Induction motor efficiency measurements in accordance to IEEE 112-B, IEC 34-2 and JEC 37 international standards". Conf. Rec. IEEE-IEMDC 2003. Madison, WI, 2003, pp. 1599-1605.

J.C. Andreas; "Energy efficient electric motors - Selection and applications". Marcel Dekker Inc., NY. 1982.

B. Lu, T.G. Habetler and R.G. Harley; "A survey of efficiency-estimation methods for in-service induction motors". IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 42, No 4, jul/aug 2006, pp 924-933.

E.B. Agamloh, A.K. Wallace, A. Jouanne, K.J. Anderson and J.A. Rooks; "Assessment of Nonintrusive Motor Efficiency Estimators". IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 41, No 1, Jan/Feb 2005, pp 127-133.

J.S. Hsu, J.D. Kueck, M. Olszewski, D.A. Casada, P.J. Otaduy, and L.M. Tolbert; "Comparison of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods". IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 34, No 1, Jan/Feb 1998, pp. 117-125

J.R. Holmquist, J.A. Rooks, M.E. Richter; "Practical Approach for Determining Motor Efficiency in the Field Using Calculated and Measured Values". IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 40, No 1, Jan/Feb 2004, pp.242-248.

F. Ferreira; A. Almeida; G. Baoming; S. Faria; J. Marques; "Automatic change of the stator-winding connection of variable-load three-phase induction motors to improve the efficiency and power factor," in Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol., Hong Kong, Dec. 14–17, 2005, pp. 1331–1336.

Capítulo 4

CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

4.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de condicionamento de ar são responsáveis pela manutenção dos níveis de temperatura e umidade de um ambiente, de forma a atender as condições de conforto dos seus ocupantes ou às necessidades de um processo produtivo. O custo de operação destes sistemas pode ser bastante significativo em algumas indústrias, tais como têxteis e gráficas, e principalmente em edifícios comerciais. Neste caso, o consumo de energia pode chegar a 60% de toda a energia consumida pela edificação. Portanto, a racionalização do uso de energia deve ser uma premissa tanto no projeto, quanto na operação e manutenção dos mesmos.

Medidas para uso racional de energia devem ser levadas em consideração durante o próprio projeto de uma nova edificação, porém o *retrofit* de instalações antigas é também uma excelente oportunidade para a substituição de componentes e sistemas de condicionamento de ar. Equipamentos e componentes mais eficientes poderão melhorar as condições de conforto na edificação, ao mesmo tempo em que consumirão menos energia.

Existem diversos aspectos que devem ser considerados para a redução do consumo de energia de instalações de condicionamento de ar, mas em linhas gerais deve-se sempre procurar:

- Selecionar componentes e sistemas que resultem em instalações econômica e energeticamente eficientes;
- Monitorar e controlar efetivamente as condições internas da edificação, mantendo temperatura e umidade dentro dos limites requeridos;
- Fornecer a quantidade adequada de ar externo para renovação, de forma a manter a qualidade do ar interno (QAI);
- Utilizar equipamentos e sistemas com baixa relação kW/TR;

- Minimizar a liberação de substâncias que agriçam a camada de ozônio ou contribuem para o aquecimento global;
- Estabelecer programas de manutenção adequados, de forma que as condições dos equipamentos e sistemas permaneçam próximas das condições de projeto.

Em geral, as melhorias possíveis para se economizar energia em uma instalação de condicionamento de ar podem ser agrupadas em duas categorias: melhorias relativas à estrutura (ambiente ou edifício climatizado) e melhorias relativas ao sistema de condicionamento de ar. Estas possibilidades de melhoria dos sistemas serão descritas a seguir.

4.2. MELHORIAS RELATIVAS À ESTRUTURA

A estrutura é composta pelo conjunto de elementos que configuram os edifícios ou locais servidos pelas instalações de ar condicionado.

Podem-se então tomar medidas para minimizar ganhos ou perdas de calor por:

- Transmissão térmica;
- Insolação;
- Infiltração de ar e umidade;
- Geração interna.

4.2.1. Transmissão Térmica

As medidas para minimizar ganhos ou perdas de calor por transmissão envolvem:

- Aplicar isolamento nos telhados, forros falsos e paredes. Esta medida reduz o consumo de energia, porém necessita de uma análise econômica detalhada.
- Sempre que possível, ventilar os espaços vazios embaixo dos telhados (sótãos).
- Instalar vidros duplos em lugar de vidros simples. Esta solução é extremamente importante para sistemas de calefação.

4.2.2. Insolação

As medidas para minimizar ganhos de calor por insolação envolvem:

- Utilizar, se possível, de telhados e paredes de cor clara.
- Instalar vidros reflexivos ou películas plásticas nas janelas de vidro. É importante avaliar o efeito desta medida sobre a iluminação natural; deve-se chegar a um ponto ótimo entre o consumo de energia para climatização e para iluminação.
- Instalar persianas exteriores ou brises, nas janelas dos ambientes climatizados. Para este item também vale a afirmação anterior quanto ao consumo de energia do sistema de iluminação.
- Revestir com material opaco, as janelas que não estejam contribuindo efetivamente para a iluminação natural.

4.2.3. Infiltração de Ar e Umidade

As medidas para minimizar ganhos de calor por infiltração de ar e umidade envolvem:

- Verificar a vedação de portas e janelas, e se possível, instalar juntas de vedação.
- Substituir vidros quebrados e corrigir imperfeições nas vedações dos mesmos (reaplicar a massa de vedação/sustentação, caso necessário).
- No caso de portas com duas folhas, reduzir ao máximo possível as frestas entre as folhas.

4.2.4. Geração Interna

As medidas para minimizar ganhos de calor por geração interna envolvem:

- Manter os níveis de iluminação do ambiente dentro do mínimo recomendado por norma.

Exemplo 1: Um ambiente cuja transmissão de calor pelo teto é de 18 TR, é coberto por uma laje de concreto de 18 cm de espessura. Estimar a redução da carga térmica deste ambiente considerando que será aplicado um isolamento de isopor de 2,5 cm de espessura sobre a laje.

Solução:

$$\text{Teto sem isolamento: } U_{sem} = 3,28 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Teto com isolamento: } U_{com} = 1,07 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\frac{q_{com}}{q_{sem}} = \frac{U_{com} A_{teto} \Delta T_{eqv}}{U_{sem} A_{teto} \Delta T_{eqv}} = \frac{1,07}{3,28} = 0,326$$

Proporcionalmente as 18 TR, a redução do aporte de calor pelo teto será de:

$$q_{com} = 18 \times 0,326 = 5,9 \text{ TR (17841 kcal / h)}$$

Considerando que o sistema opera 10 h/dia, 22 dias/mês e 12 meses/ano e que o resfriador ("chiller") tem eficiência de 0,85 kW/TR, a redução no consumo será:

$$\text{Red. Consumo} = 10 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \cdot 22 \frac{\text{dia}}{\text{mês}} \cdot 12 \frac{\text{mês}}{\text{ano}} \cdot 5,9 \text{ TR} \cdot 0,85 \frac{\text{kW}}{\text{TR}} = 13240 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}}$$

Se a tarifa de energia elétrica é de 0,118 R\$/kWh, tem-se uma economia de:

$$\text{Economia} = 13240 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \cdot 0,118 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} = 1562 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}}$$

Exemplo 2: Considere um edifício comercial com dois pavimentos, com área útil total de 1500 m² e taxa média de iluminação de 25 W/m². Um estudo demonstrou que aproximadamente 60% da iluminação pode ser desligada entre 18 às 21h. Sabe-se ainda que o sistema de condicionamento de ar opera das 8h as 21 h, 20 dias por mês, 12 meses por ano e que o mesmo é dotado de resfriador de líquido cuja relação kW/TR é igual a 0,85. Estimar a economia de energia do sistema de condicionamento de ar, oriunda da redução da iluminação.

Solução:

$$\text{Reduc Carga Térmica} = 1500 \text{ m}^2 \cdot 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,60 = 25500 \text{ W} = 6,4 \text{ TR}$$

$$\text{Consumo} = 3 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \cdot 20 \frac{\text{dia}}{\text{mês}} \cdot 12 \frac{\text{mês}}{\text{ano}} \cdot 6,4 \text{ TR} \cdot 0,85 \frac{\text{kW}}{\text{TR}} = 3917 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}}$$

Se a tarifa de energia elétrica é de 0,118 R\$/kWh, tem-se uma economia de:

$$\text{Economia} = 3917 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \cdot 0,118 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} = 462 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}}$$

4.3. MELHORIAS RELATIVAS AO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Os sistemas de condicionamento de ar são constituídos por instalações e equipamentos mecânicos (ventiladores, bombas, tubulações, dutos, etc) e elétricos (motores de potência, manobra e regulagem). Devem ser analisados todos os componentes, mecânicos e elétricos, antes de se efetuar modificações, pois certas modificações podem aumentar o consumo de energia.

As melhorias relativas ao sistema de condicionamento de ar podem ser divididas em três classes:

- Projeto do sistema;
- Operação do sistema;
- Manutenção do sistema.

4.3.1. Projeto do Sistema

- Estabelecer um zoneamento correto da edificação, utilizando sistemas distintos para as zonas perimetrais (muito afetadas pelas variações climáticas) e para as zonas interiores (mais afetadas pelas cargas de geração interna, notadamente iluminação e ocupação).
- Diminuir a vazão de ar exterior de renovação até o valor mínimo permissível para satisfazer os critérios de ventilação.
- Utilizar água de condensação para alimentar as serpentinas de reaquecimento dos sistemas de climatização.
- Utilizar água de condensação para pré-aquecer o ar externo no inverno.
- Utilizar a água dos sistemas de condensação dos equipamentos frigoríficos para pré-aquecer a água quente de uso sanitário ou industrial.
- Se existir vapor à alta pressão disponível, analisar a possibilidade de utilização de turbinas para acionar bombas e ventiladores. Aproveitar o condensado do vapor para pré-aquecer a água da serpentina de aquecimento.
- Considerar a utilização de resfriamento evaporativo do ar para a climatização de ambientes que o permitam.
- Verificar se as dimensões dos tanques de expansão são adequadas. Tanques subdimensionados provocam a perda de água resfriada.

- Desligar os ventiladores de extração de zonas não ocupadas e manter a vazão destes ventiladores dentro dos valores estabelecidos em projeto (valor mínimo).
- Utilizar motores elétricos de potência adequada. Motores elétricos superdimensionados trabalham com rendimento baixo.
- Fazer com que os ventiladores de extração de banheiros e lavabos funcionem somente quando estes ambientes estejam ocupados. Isto pode ser realizado conectando-se os ventiladores ao interruptor de iluminação.
- Adequar a classe dos filtros de ar às exigências da instalação. Normalmente, filtros mais finos (classes maiores) provocam maior perda de carga, requerendo mais energia do ventilador.
- Analisar a possibilidade de aumentar a área dos filtros de ar para diminuir sua perda de carga.
- Analisar a possibilidade de substituição de equipamentos de calefação elétricos por outros que trabalhem com um fluido quente.
- Utilizar um sistema de tratamento de água adequado, diminuindo assim as incrustações nas tubulações, trocadores de calor, etc.
- Ajustar o diâmetro dos rotores das bombas para compatibilizar seu funcionamento com as necessidades dos circuitos.

4.3.2. Operação do Sistema

- Estudar e otimizar o horário de partida e parada dos sistemas de climatização.
- Desligar todos os sistemas quando não vão realmente ser utilizados.
- Fechar as tomadas de ar exterior quando os sistemas não forem utilizados.
- Quando o comissionamento da instalação, ou mesmo em intervalos regulares, determinar o valor das infiltrações de ar externo. Estas podem constituir uma porcentagem importante da vazão mínima de ar de renovação, podendo-se então diminuir a vazão introduzida mecanicamente.
- Ajustar a temperatura da água resfriada e da água quente de acordo com as necessidades reais da aplicação.
- Diminuir as vazões de água gelada e quente, até os valores mínimos possíveis.
- Pôr em marcha elementos auxiliares do sistema de condicionamento de ar somente quando realmente necessários.

4.3.3. Manutenção do Sistema

- Minimizar as fugas de ar dos dutos.
- Verificar os registros (“dampers”) para garantir que sejam mínimos os vazamentos quando estiverem completamente fechados.
- Isolar tubulações e dutos que passam por espaços não condicionados e/ou não ocupados.
- Reparar todos os isolamentos em mau estado de conservação.
- Manter limpos os filtros das tubulações de água gelada e quente.
- Verificar se os purgadores de ar dos circuitos hidráulicos estão funcionando corretamente. A presença de ar nas tubulações aumenta o consumo de energia.
- Identificar e reparar todas as fugas de fluidos existentes (ar, água quente, água gelada, refrigerante, óleo, etc).
- Manter ajustado o sistema de purga do circuito de água das torres de resfriamento, evitando a perda excessiva de água e produtos químicos.
- Estabelecer um programa cuidadoso de manutenção dos filtros de ar de modo que estes estejam sempre em ótimas condições.
- Manter o superaquecimento do fluido refrigerante dentro dos valores especificados.
- Manter limpos os evaporadores, serpentinas de água e condensadores.

Exemplo 3: Calculou-se a vazão de ar de renovação para 100 pessoas em um escritório em $2500 \text{ m}^3/\text{h}$, e a carga térmica correspondente em 25.000 kcal/h (8 TR). Durante uma auditoria energética constatou-se que as venezianas de tomada de ar externo estavam completamente abertas, resultando numa vazão de ar externo igual a $3500 \text{ m}^3/\text{h}$. Sabe-se ainda que o sistema de condicionamento de ar opera 12 horas por dia, 20 dias por mês, 12 meses por ano e que o mesmo é dotado de condicionador de ar autônomo (self contained) cuja relação kW/TR é igual a 0,98. Estimar a economia de energia do sistema de condicionamento de ar que será obtida ao se regular a vazão de ar externo para o valor de projeto.

Solução:

O excesso de ar externo é dado por: $\dot{V}_{exc} = 3500 - 2500 = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$

A redução de carga do sistema será dada por: $\frac{1000}{2500} \cdot 8 = 3,2 \text{ TR}$ (9677 kcal/h)

$$\text{Consumo} = 12 \frac{h}{dia} \cdot 22 \frac{dia}{mês} \cdot 12 \frac{mês}{ano} \cdot 3,2 TR \cdot 0,98 \frac{kW}{TR} = 9934 \frac{kWh}{ano}$$

Se a tarifa de energia elétrica é de 0,118 R\$/kWh, a economia possível pela correção da vazão de renovação é:

$$\text{Economia} = 9934 \frac{kWh}{ano} \cdot 0,118 \frac{R\$}{kWh} = 1172 \frac{R\$}{ano}$$

Exemplo 4: Uma instalação de condicionamento de ar é dotada de unidades serpentina-ventilador (“fan-coil”) com vazão total de 86.000 m³/h. Supondo que estes equipamentos estejam operando com os filtros de ar sujos, o que está causando um aumento de perda de carga nos mesmos de 8 mmCA (0,08 kPa). Sabe-se ainda que o sistema de condicionamento de ar opera 10 horas por dia, 20 dias por mês, 12 meses por ano. Estimar o consumo adicional de energia destes equipamentos e a economia que poderia ser efetuada através da limpeza dos filtros.

Solução:

A potência do ventilador necessária para compensar o excesso de perda de carga nos filtros pode ser calculada por:

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q} \Delta P}{3600 \eta_{vent}}$$

onde: \dot{W} potência, kW.

\dot{Q} vazão, em m³/h

ΔP perda de carga, em kPa.

η_{vent} rendimento do ventilador (78%)

Assim, tem-se:

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q} \Delta P}{3600 \eta_{vent}} = \frac{86000 \cdot 0,08}{3600 \cdot 0,78} = 2,45 kW$$

$$\text{Consumo} = 10 \frac{h}{dia} \cdot 20 \frac{dia}{mês} \cdot 12 \frac{mês}{ano} \cdot 2,45 kW = 5880 \frac{kWh}{ano}$$

Se a tarifa de energia elétrica é de 0,118 R\$/kWh, a despesa em excesso pela não limpeza dos filtros é de:

$$\text{Despesa em Excesso} = 5880 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \cdot 0,118 \frac{\text{R}\$}{\text{kWh}} = 693,84 \frac{\text{R}\$}{\text{ano}}$$

4.4. MELHORIAS POR TIPO DE SISTEMA DE AR CONDICIONADO

4.4.1. Sistemas com Vazão de Ar Variável (VAV)

Os sistemas VAV podem fornecer ar aquecido ou refrigerado, à temperatura constante, para todas as zonas servidas. Caixas VAV terminais, localizadas em cada zona, controlam a vazão insuflada no ambiente em função da sua carga térmica. Como medidas para a redução do consumo de energia destes sistemas podem ser citadas:

- Reduzir o volume total de ar tratado pelo sistema até o mínimo satisfatório;
- Reduzir a temperatura da água quente e aumentar a temperatura da água fria de acordo com os requerimentos do sistema;
- Trabalhar com temperaturas do ar refrigerado não inferior à necessária para satisfazer a zona com carga térmica máxima;
- Instalar controles de pressão estática, aumentando assim a eficiência da operação (regulagem) dos registros (dampers) de desvio;
- Instalar registro de regulagem na sucção do ventilador, caso não exista.

4.4.2. Sistemas com Vazão de Ar Constante (VAC)

A maioria dos sistemas com vazão de ar constante faz parte de um outro sistema, por exemplo, um sistema duplo duto, sistemas usados para fornecer a vazão exata de ar insuflado. As oportunidades para a redução do consumo de energia destes sistemas são:

- Determinar e utilizar a mínima vazão de ar necessária para atender as cargas térmicas;
- Investigar a possibilidade de conversão destes sistemas para vazão de ar variável.

4.4.3. Sistemas de Indução

Estes sistemas fornecem ar primário à alta velocidade para os condicionadores de indução instalados nas diferentes zonas. Nestes condicionadores, o ar primário é descarregado através de bocais, induzindo o escoamento do ar do ambiente através de serpentinas de aquecimento ou resfriamento. Como métodos para a redução do consumo de energia destes sistemas podem ser citados:

- Fixar a vazão de ar primário em valores iguais aos de projeto quando for efetuado o balanceamento da instalação;
- Inspeccionar os bocais. Verificar se houve alargamento dos orifícios dos bocais em decorrência da utilização. Se houve alargamento, balancear novamente a quantidade de ar primário. Manter os bocais limpos a fim de evitar perda de carga excessiva;
- Manter a temperatura da água fria no máximo valor possível durante o período de resfriamento;
- Considerar a utilização de ajuste manual da temperatura do ar primário durante o aquecimento em vez de ajuste automático em função das condições externas.

4.4.4. Sistemas Duplo Duto

O condicionador central dos sistemas duplo duto fornece ar aquecido ou refrigerado, ambos à temperatura constante. Cada zona é servida por dois dutos, um com ar quente e outro com ar refrigerado, que alimentam uma caixa de mistura onde as duas correntes se juntam em proporções adequadas para compensar a carga térmica da zona em questão. Como medidas para a redução do consumo de energia podem ser citadas:

- Reduzir a temperatura do ar quente e elevação da temperatura do ar refrigerado;
- Reduzir a vazão de ar para todas as caixas de mistura ao nível mínimo aceitável;
- Quando não existirem cargas de resfriamento, fechar o duto de ar frio e desligar o sistema frigorífico. Operar o sistema como se fosse constituído de um único duto, reduzindo assim a vazão de ar e economizando energia;
- Quando não existirem cargas de aquecimento, fechar o duto de ar quente e desligar o sistema de aquecimento. Operar o sistema como se fosse constituído de um único duto.

4.4.5. Sistemas de Zona Única

Um sistema de zona única é aquele que fornece ar aquecido ou refrigerado para uma única zona, isto é, um ou mais recintos controlados por um único termostato. O condicionador de ar pode estar instalado dentro da própria zona ou fora desta em local apropriado, e o ar pode ser insuflado diretamente no ambiente ou distribuído por dutos curtos. Pontos que podem resultar em redução do consumo de energia são:

- Reduzir a vazão de ar ao valor mínimo necessário, se o sistema assim permitir, reduzindo-se assim a potência requerida do ventilador. Uma vez que a potência do ventilador varia com o cubo da vazão, 10% de redução da vazão correspondem a 27% de redução na potência do ventilador;
- Aumentar a temperatura de insuflamento durante o verão e reduzi-la durante o inverno;
- Remover a serpentina de aquecimento e utilizar a serpentina de resfriamento para fornecer tanto resfriamento como aquecimento por meio da mudança da tubulação de água (fria ou quente). Isto resulta em economia de energia de duas formas: (a) Redução da perda de carga do sistema e conseqüente economia de energia no ventilador; (b) Uma vez que as dimensões das serpentinas de resfriamento são muito maiores do que as de aquecimento, é possível trabalhar com temperaturas menores da água quente. Deve-se observar, porém, que a remoção da serpentina de aquecimento não é recomendada se o controle de umidade é crítico na zona considerada.

4.4.6. Sistemas com Reaquecimento Terminal

Nestes sistemas, o condicionador central fornece ar a uma dada temperatura para todas as zonas servidas pelo mesmo. Paralelamente, serpentinas de reaquecimento, instaladas em cada zona, aquecem ar primário em função da carga térmica da zona considerada. As oportunidades para a redução do consumo de energia destes sistemas residem em:

- Redução da vazão de ar para sistemas com zona única ou até a vazão mínima para satisfazer todas as zonas;
- Se for necessário um controle preciso da temperatura e da umidade nas zonas, deve-se reduzir a temperatura e a vazão de água da serpentina de reaquecimento aos valores mínimos necessários;
- Se não for necessário um controle preciso de umidade e temperatura, deve ser

analisada a possibilidade de conversão do sistema para VAV, eliminando-se as serpentinas de reaquecimento.

4.5. CONTROLE E REGULAGEM

Algumas medidas envolvendo o controle e a regulagem da instalação de climatização que podem resultar em redução no consumo de energia são:

- Proteger os termostatos e outros sensores para evitar sua manipulação por pessoas não autorizadas;
- Instalar os termostatos longe dos locais que sofrem grande influência de focos de calor ou frio;
- Sempre que possível, instalar controles de temperatura ambiente em cada um dos locais climatizados;
- Manter os sensores limpos;
- Avaliar a possibilidade de trocar as válvulas de três vias por válvulas de duas vias, instalando-se um sistema de bombeamento com velocidade variável;
- Avaliar a possibilidade de instalação de termostatos de controle flutuante, permitindo que a temperatura ambiente flutue entre margens relativamente amplas.

4.6. RENDIMENTOS DOS EQUIPAMENTOS DE CONDICIONAMENTO DE AR

O rendimento de um equipamento frigorífico pode ser expresso pelo seu COP, "EER" ou através da relação kW/TR. O índice EER é expresso em Btu/W.h, representando a relação entre o efeito útil (capacidade de refrigeração da instalação) e a quantidade de trabalho requerida para produzi-lo. A relação entre estes índices de eficiência é dada por:

$$\frac{kW}{TR} = \frac{3,52}{COP} \quad EER = COP \cdot 3,41$$

Nas Tabela 4.1 e 4.2 são apresentados valores típicos da eficiência (COP) de diversos tipos de equipamentos utilizados para o condicionamento de ar. Cabe ressaltar que estes valores devem ser utilizados apenas como referência e, sempre que possível, valores mais precisos devem ser obtidos junto aos fabricantes.

Tabela 4.1 - COP típico para diferentes tipos de chillers.

Tipo de Chiller	COP
Chillers de Compressão de Vapor de Pequena Capacidade	
<i>Resfriados a ar</i>	2,2 a 3,5
Chillers de Compressão de Vapor de Grande Capacidade	
<i>Resfriados a ar</i>	3,7 a 4,3
<i>Resfriados a água</i>	4,6 a 5,4
Chiller de Absorção de Vapor	
<i>De único efeito</i>	0,4 a 0,7
<i>De duplo efeito</i>	0,8 a 1,1

Tabela 4.2 - COP típico para condicionadores de ar autônomos.

Tipo de Equipamento	COP
Aparelhos de janela	
<i>Compressores Alternativos</i>	2,2 a 2,5
<i>Compressores Rotativos</i>	2,7 a 2,9
Mini-splits	2,3 a 3,0
Multi-splits	2,6 a 3,0
Self Contained	
<i>Resfriados a ar</i>	2,1 a 3,1
<i>Resfriados a ar – condensação remota</i>	2,3 a 3,2
<i>Resfriados a água</i>	3,0 a 3,5

Outra fonte de dados sobre eficiência de equipamentos de condicionamento de ar é o INMETRO. Por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o INMETRO fornece aos consumidores, informações que permitem avaliar o consumo de energia dos equipamentos e adquirir aqueles de maior eficiência. O selo do Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia do PROCEL é concedido anualmente como forma de incentivo aos fabricantes de equipamentos que tenham obtido classificação "A" do PBE. As tabelas com as classificações do PROCEL são dadas a seguir; informações mais atualizadas e completas podem ser obtidas no endereço do INMETRO (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>).

Tabela 4.3 - Coeficiente de eficiência para condicionadores tipo janela.

CONDICIONADOR DE AR Data 10/7/2006

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)												Total de modelos por Classe
	Categoria 1 ≤9495 KJ/h ≤ 9.000 BTU/h			Categoria 2 9.496 a 14.769 9.001 a 13.999			Categoria 3 14.770 a 21.099 14.000 a 19.999			Categoria 4 ≥ 21.100 ≥ 20.000			
A	2,91	25	54,3%	3,02	19	52,8%	2,87	7	38,9%	2,82	1	10,0%	52
B	2,68	10	21,7%	2,78	12	33,3%	2,7	6	33,3%	2,62	5	50,0%	33
C	2,47	0	0,0%	2,56	2	5,6%	2,54	3	16,7%	2,44	0	0,0%	5
D	2,27	0	0,0%	2,35	0	0,0%	2,39	2	11,1%	2,27	2	20,0%	4
E	< 2,27	11	23,9%	< 2,35	3	8,3%	< 2,39	0	0,0%	< 2,27	2	20,0%	16

Tabela 4.4 - Coeficiente de eficiência para condicionadores tipo split.

CONDICIONADOR DE AR SPLIT Data atualização: 10/7/2006

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Total de modelos por classe	
A	CEE>	2,94	80	31,1%
B	2,76 <CEE≤	2,94	113	44,0%
C	2,58 <CEE≤	2,76	45	17,5%
D	2,39 <CEE≤	2,58	17	6,6%
E	CEE≤	2,39	2	0,8%

4.7. CASO 1: INSTALAÇÃO DE TERMO-ACUMULAÇÃO NA FIESP

4.7.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de climatização realizados na FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, uma Entidade Representativa de Classe (Industrial) localizada em São Paulo / SP. A estrutura tarifária ao final do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Verde do sub-grupo AS com demanda contratada igual a 920 kW.

4.7.2. Apresentação e objetivos

Este projeto foi realizado através do Programa de Eficiência Energética – PEE da ANEEL, utilizando recursos da AES Eletropaulo. A execução da obra e o estudo ficaram por conta da Ecoluz S.A.. Conforme a agenda de implementação do PEE, houve inicialmente uma fase de estudos onde foi realizado um Diagnóstico Energético da instalação e uma fase posterior de implementação da obra para os projetos aprovados.

Neste projeto foram implementadas ações de Eficiência Energética no Sistema de Climatização do edifício comercial da FIESP, com o objetivo direto de reduzir os gastos com energia elétrica. Isto foi alcançado com a modernização do sistema, que passou a operar com termo-acumulação.

O edifício principal apresenta um funcionamento estritamente comercial, com maior consumo no final da tarde quando a carga térmica aumenta muito. O edifício secundário apresenta áreas condicionadas 24 h por dia para atender o armazenamento de obras de arte, bem como para retirar a carga térmica dos finais de semana quando são realizados espetáculos teatrais, exposições etc.

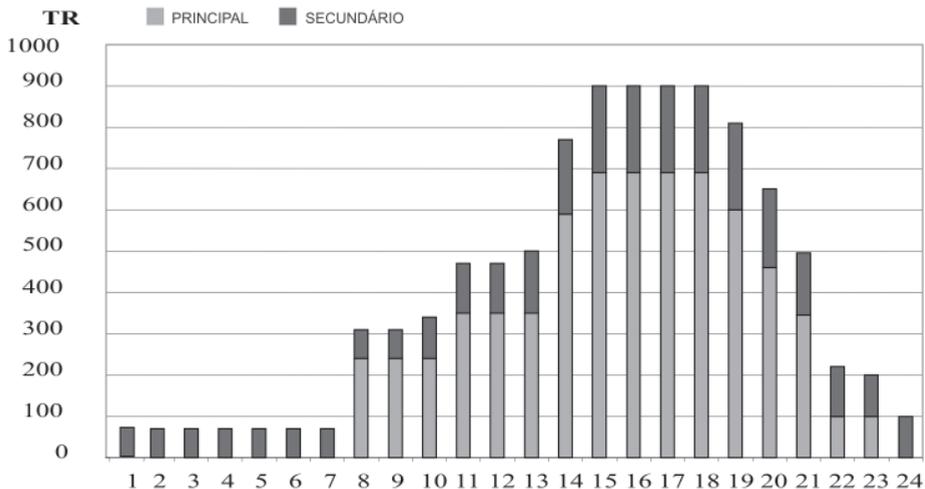


Figura 4.1 - Perfil de carga térmica dos edifícios

Na figura acima, é apresentado o perfil de carga térmica do edifício principal somado ao do prédio secundário, atingindo um pico de 900 TR das 15 às 18 horas.

O sistema de ar condicionado do edifício comercial apresentava duas centrais de água gelada totalmente independentes e separadas fisicamente. Uma central atendia o edifício principal e, posteriormente, outra foi instalada para atender as instalações secundárias, conforme descrição a seguir.

Tabela 4.5 - Características dos equipamentos do prédio principal

PRÉDIO PRINCIPAL				
Qtd	Equipamento	Fabricante	Modelo	Capacidade
3	Chiller	York	HT 230-R11	230 TR, R11
3+1	BAG	KSB	100-40	141 m ³ /h, 50 mca, 50 cv, IV polos
3	BAC	KSB	80-315	170 m ³ /h, 40 mca, 50 cv, IV polos
6	Torres			85 m ³ /h, 5 cv, IV polos
41	Fancoletes		com válvulas de 2 vias	
16	Fancoil		com válvulas de 2 vias	
34	Fancoil		com válvulas de 3 vias	
BAG - Bomba de água gelada / BAC - Bomba de água de consensação				

Os equipamentos do prédio principal apresentavam as seguintes condições:

- Prevista a retirada de uma das unidades resfriadoras, a qual não estava em operação;
- Estas torres apresentavam a descarga de ar comprometida pela execução do Heliporto;
- Quadro elétrico geral sem nenhuma automatização e condições de funcionamento precárias.

Tabela 4.6 - Características dos equipamentos do prédio secundário

PRÉDIO SECUNDÁRIO				
Qtd	Equipamento	Fabricante	Modelo	Capacidade
1	Chiller	York	YCWJ-88MH0	210 TR, R22
1+1	BAGP	Worthington	4x3x13	104 m ³ /h, 25 mca, 10 cv, IV polos
1+1	BAGS	Worthington	6x4x13	104 m ³ /h, 50 mca, 25 cv, IV polos
1+1	BAC	Worthington	4x3x13	137 m ³ /h, 60 mca, 40 cv, IV polos
2	Torres			69 m ³ /h, 10 cv, VIII polos
1	Fancoil		Alvenaria	100 TR
10	Fancoil		com válvulas de 2 vias	
BAGP/BAGS - Bomba de água gelada primária e secundária / BAC - Bomba de água de consensação				

Os equipamentos do prédio secundário apresentavam as seguintes condições:

- By-pass pressostático na central de água gelada (desativado).
- Duas torres de resfriamento com problemas de equalização de nível de água nas bacias

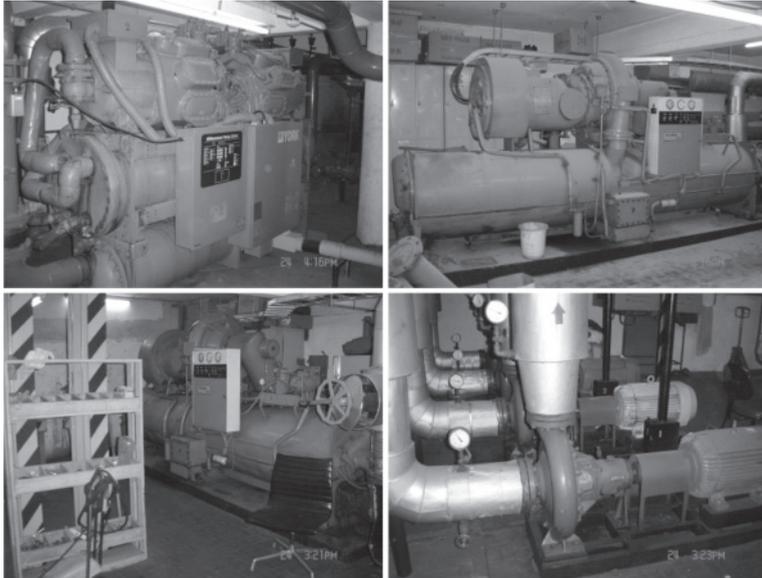


Figura 4.2 - Equipamentos antigos

Após a realização de análises técnicas e econômicas nos equipamentos, propôs-se então fazer a instalação de dois novos chillers, do tipo parafuso, com capacidade de 240 TR cada um, substituindo um chiller centrífugo antigo existente no prédio principal. Os outros dois chillers antigos foram mantidos por necessidade da obra e por segurança.

Para fazer a termo-acumulação, também foram instalados 32 tanques de gelo para armazenar a energia que seria utilizada para climatizar o ambiente no horário de ponta.

As interligações feitas com novos trechos de tubulação e válvulas de manobra criaram um circuito secundário independente para a água gelada e permitiram o uso do banco de gelo para atender parte da carga do edifício secundário.

4.7.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

O desenvolvimento deste trabalho seguiu uma metodologia baseada na experiência de trabalhos similares já realizados em diversas instalações industriais e comerciais. De forma resumida, a metodologia adotada na fase de elaboração do Diagnóstico contou com as seguintes etapas:

- Análise prévia da documentação (diagramas unifilares, históricos do consumo de energia elétrica, memórias de massa dos medidores da concessionária);

- Visitas aos locais para conhecimento das instalações e identificação dos ambientes;
- Medições de grandezas elétricas com analisadores de energia nos circuitos elétricos dos sistemas de ar condicionado;
- Entrevista com o pessoal de operação, processo e manutenção para coletar informações sobre aspectos funcionais, necessidades específicas das cargas térmicas e conservação dos equipamentos;
- Análise estatística dos parâmetros históricos de utilização de energia elétrica para estudo da contratação de energia;
- Elaboração de um relatório contendo o estudo de viabilidade do projeto de eficiência energética;

Concluído o diagnóstico energético, a possibilidade de climatização por termo-acumulação se mostrou como a alternativa mais viável, produzindo gelo no período fora de ponta (madrugada), para a utilização desse frio armazenado no período de ponta. Especialmente a redução da demanda no horário de ponta resultou em significativa redução de custos.

Na fase de obras, a instalação do novo sistema exigiu logística apurada para que ela fosse executada sem a interrupção da climatização do edifício. Todas as alterações executadas deveriam ter a possibilidade de serem revertidas imediatamente, caso houvesse uma parada do sistema.

Duas, das três centrífugas existentes no prédio principal, foram mantidas como uma “reserva técnica”, durante e após a obra, para permitir esta manobra por válvulas borboleta manuais.

4.7.4. Detalhes da implementação

Substituiu-se uma das centrífugas existentes por dois novos chillers, do tipo parafuso, com capacidade de 240 TR para geração de água gelada e capacidade de 160 TR para produção de gelo. Esses compressores modernos são microprocessados com duplo set-point para permitir a operação com termo-acumulação.

Com a implementação do novo sistema de termo-acumulação, também foi possível otimizar o funcionamento da central de água gelada do prédio secundário. Isto porque parte do frio foi produzido pela central do prédio principal, na forma de gelo, é transferido para esta central no horário de ponta, através do trocador de calor. Além disso, parte dos seus equipamentos pode ficar mantida desligada durante este horário.

Tabela 4.7 - Nova configuração de equipamentos do prédio principal

PRÉDIO PRINCIPAL				
Qtd	Equipamento	Fabricante	Modelo	Capacidade
2	Chiller		Parafuso	240 TR (água), 160 TR (gêlo)
2	Chiller	York	HT 230-R11	230 TR, R11
3+1	BAGS (água)	KSB	100-40	141 m ³ /h, 50 mca, 50 cv, IV polos
1	Inversor			50 cv (circuito de água gelada)
3+1	BAGP (etilenoglicol)	KSB	100-250	151 m ³ /h, 50 mca, 35 cv, IV polos
3	BAC	KSB	80-315	170 m ³ /h, 40 mca, 50 cv, IV polos
2	Trocadores de calor		AO55 MGS-07 - Placas	
32	Tanques de gêlo	Calmac	Calmac 1100	
6	Torres			85 m ³ /h, 5 cv, IV polos
16	Fancoil		com válvulas de 2 vias	
34	Fancoil		com válvulas de 3 vias	

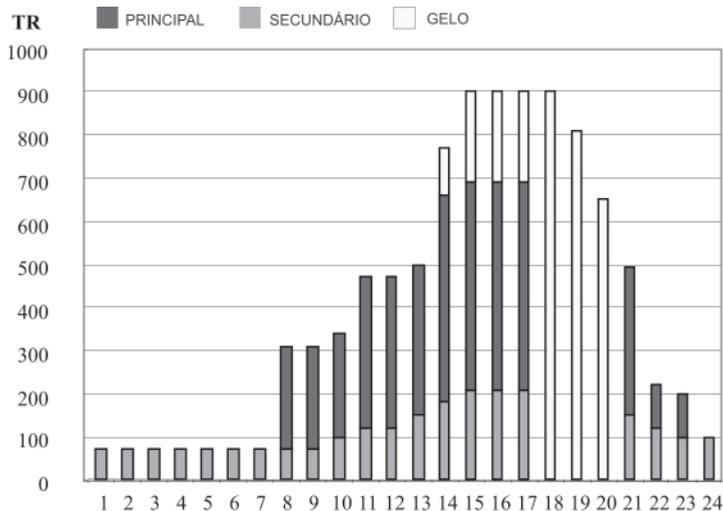


Figura 4.3 - Operação do chiller e banco de gelo após implementação

O novo perfil de carga térmica faz uso do gelo diariamente, no horário de ponta e no período das 14 às 17 horas nos dias mais quentes..

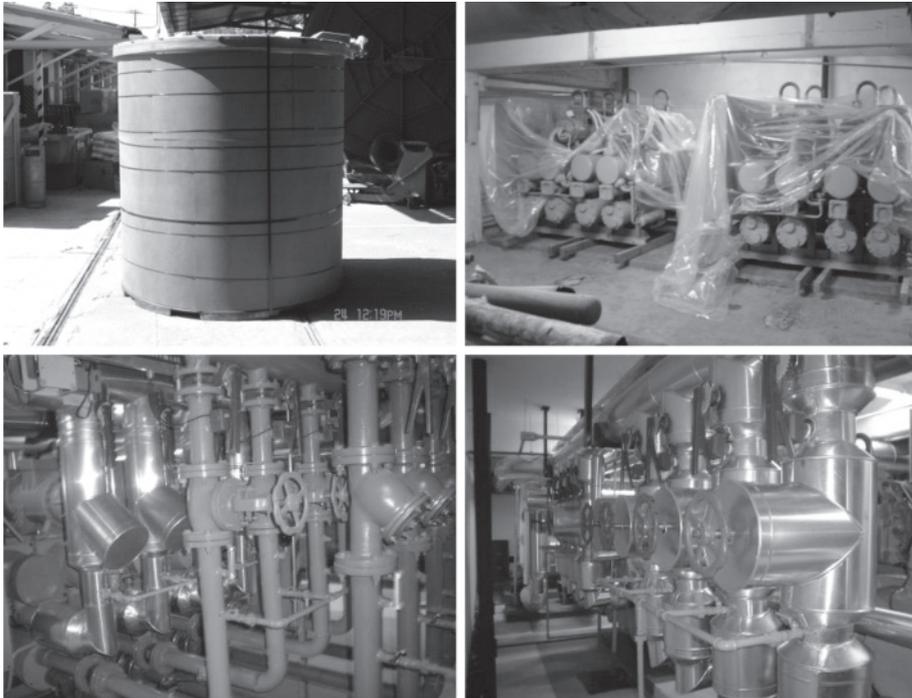


Figura 4.4 - Equipamentos novos

Circuito de água de condensação composto por um único circuito de tubos. Sua operação é contínua no horário fora de ponta e mantém-se desligado no horário de ponta.

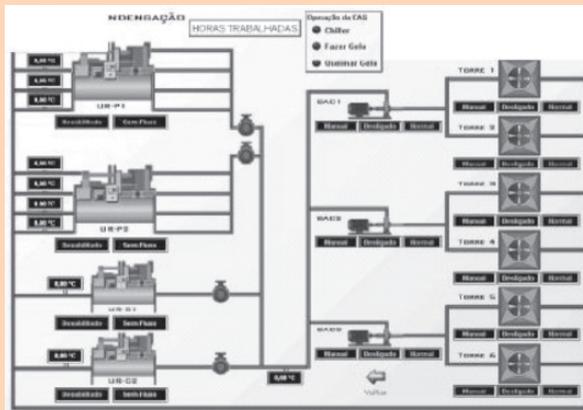
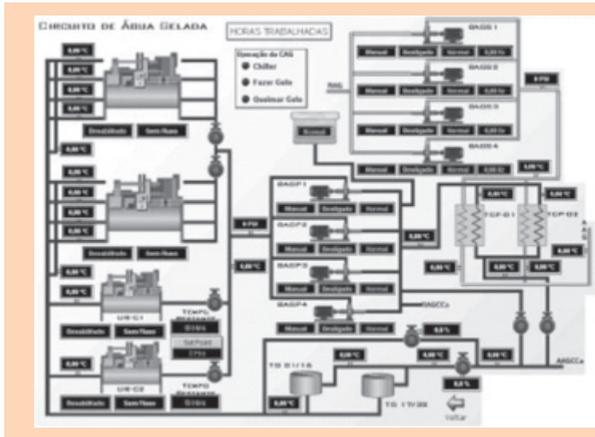


Figura 4.5 - Sistema supervisorio do circuito de água de condensação



Circuito de água gelada composto por um circuito primário de mono-etilenoglicol e um novo circuito secundário de água gelada interligados por dois trocadores de calor de placas. O circuito primário opera produzindo gelo ou atendendo a carga térmica do prédio no horário fora de ponta, ou então, opera consumindo gelo no horário de ponta.

Figura 4.6 - Sistema supervisório do circuito de água gelada

Tabela 4.8 - Nova configuração de equipamentos do prédio secundário

PRÉDIO SECUNDÁRIO				
Qty	Equipamento	Fabricante	Modelo	Capacidade
1	Chiller	York	YCWJ-88MH0	210 TR, R22
1+1	BAGP	Worthington	4x3x13	104 m ³ /h, 25 mca, 10 cv, IV polos
1+1	BAGS	Worthington	6x4x13	104 m ³ /h, 50 mca, 25 cv, IV polos
1+1	BAC	Worthington	4x3x13	137 m ³ /h, 60 mca, 40 cv, IV polos
2	Torres			69 m ³ /h, 10 cv, VIII polos
1	Fancoil		Alvenaria	100 TR
10	Fancoil		com válvulas de 2 vias	
1	Trocador de calor		QO55 MGS-06 - Placas	
2	Válvulas do tipo Borboleta		Proporcional controladora de temperatura	Diâmetro 8"
2	Válvulas do tipo Borboleta		Ação ON/OFF	Diâmetro 8"
8	Válvulas do tipo Borboleta		Ação ON/OFF	Diâmetro 6"
1	Válvulas de controle de vazão	Desbordes		Diâmetro 4", 104 m ³ /h
4	Válvulas do tipo Borboleta			Diâmetro 4"

No prédio secundário, os equipamentos permaneceram os mesmos, sendo acrescentadas válvulas e um trocador de calor. Para evitar o consumo excessivo de energia, as válvulas são manobradas para fechar o circuito da água de condensação e fazer um by-pass para a solução de mono-etileno-glicol. Outra válvula de controle de vazão foi usada para controlar a temperatura do ambiente neste prédio no horário de ponta.

4.7.5. Prazos e custos

O investimento total, incluindo equipamentos, mão-de-obra e instalação, foi de R\$ 2,25 milhões, conforme o contrato realizado com a concessionária de energia e o cliente.

O período de implantação do sistema foi de 7 meses, incluindo o prazo de entrega dos equipamentos.

4.7.6. Resultados e benefícios alcançados

O procedimento de verificação dos resultados obtidos pelo projeto seguem o chamado protocolo de medição e verificação. Este método baseia-se na comparação de medições elétricas antes e após a substituição dos sistemas. Também é usual fazer um acompanhamento das faturas de energia elétrica para conferir os resultados econômicos.

No período anterior à substituição do sistema de climatização, foram realizadas medições de grandezas elétricas no quadro geral de força, o qual alimenta os compressores dos resfriadores, as bomba dos condensadores, as bombas de água gelada e os ventiladores das torres de resfriamento.

A partir destas medições, também foram estimadas as horas de operação anuais dos sistemas para o cálculo de viabilidade do projeto.

Com as medições realizadas durante uma semana, foi estimado que o funcionamento típico da sala de máquinas ocorria entre 8:30h e 21:30h atingindo uma demanda máxima de 750 kW. Estas medições resultaram nas curvas de carga do sistema principal e secundário mostradas nas figuras a seguir.

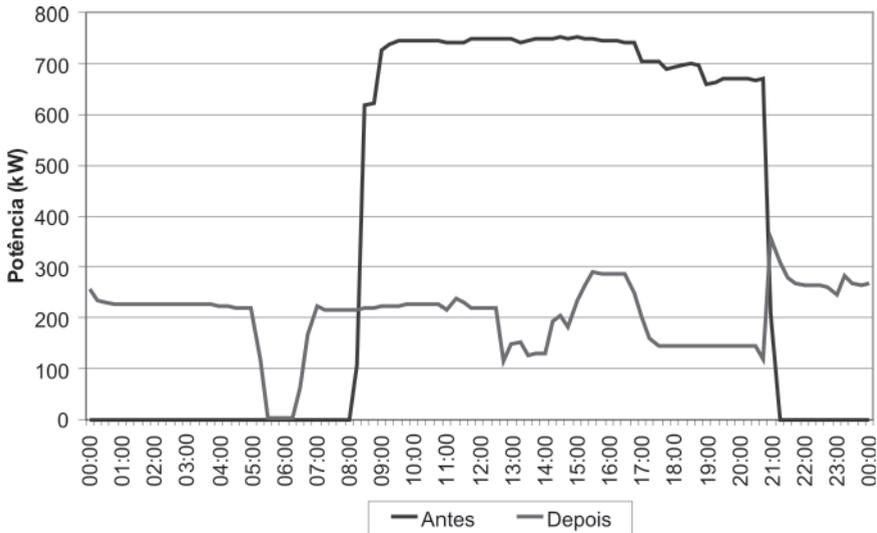


Figura 4.7 - Medições - Sala de máquinas do prédio principal (típico)

Após a implementação, foram feitas novas medições com o sistema operando com a termo-acumulação de gelo.

No sistema do prédio principal, a demanda máxima registrada na ponta foi de 149 kW. Neste horário apenas as bombas entravam em funcionamento. No horário fora de ponta a demanda máxima ficou próxima de 350 kW.

Como o projeto interferiu no regime operacional do sistema de ar condicionado do prédio secundário (pelo uso das bombas de água gelada), decidiu-se fazer a comparação da curva de carga apenas dos chillers, que são os maiores equipamentos. Apesar de terem ocorrido variações no comportamento diário durante a semana de medição, pode-se dizer que as curvas de carga típicas antes e após a implementação no prédio secundário foram iguais às mostradas no gráfico a seguir.

Com uma semana de medição no chiller do prédio secundário, verificou-se que nos dias com horário de ponta, os equipamentos funcionavam no horário noturno (paralelo ao período de fabricação de gelo). Nos finais de semana, quando não havia horário de ponta, eles funcionavam continuamente.

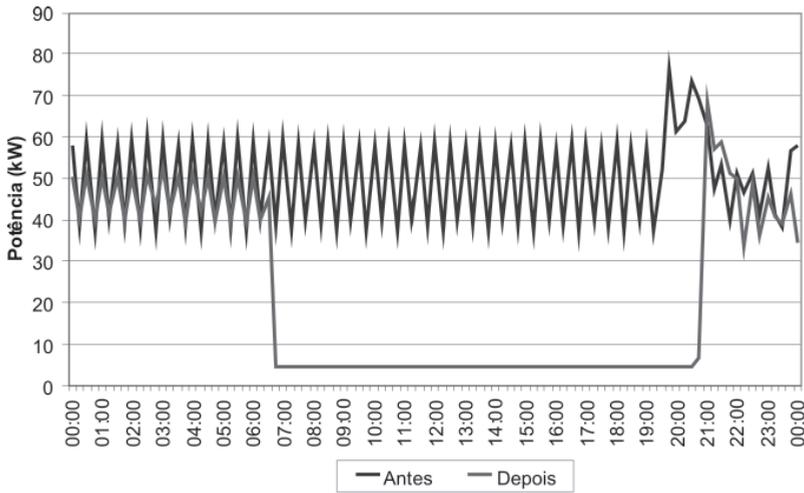


Figura 4.8 - Medições - Chiller do prédio secundário (típico)

Verificou-se pela medição, que a demanda máxima registrada era de 68 kW e que no horário de ponta, apenas as bombas estavam em funcionamento.

Tabela 4.9 - Dados de potência e energia elétrica pré implementação

DATA LEITURA ATUAL	Consumo Ativo (kWh)		Demanda Registrada (kW)	
	Na Ponta	Fora de Ponta	Na Ponta	Fora de Ponta
01/02/2005	23.246	227.400	805	946
01/03/2005	31.322	248.160	859	877
01/04/2005	43.212	263.280	899	894
01/05/2005	20.690	254.560	392	848
01/06/2005	37.684	265.600	885	952

Tabela 4.10 - Dados de potência e energia elétrica pós implementação

DATA LEITURA ATUAL	Consumo Ativo (kWh)		Demanda Registrada (kW)	
	Na Ponta	Fora de Ponta	Na Ponta	Fora de Ponta
01/02/2005	24.542	267.480	440	901
01/10/2005	24.906	266.480	429	896
01/11/2005	21.791	297.800	427	946
01/12/2005	21.080	268.280	429	904
01/01/2006	23.404	274.040	478	877

Pelo acompanhamento das faturas de energia apresentadas nas tabelas anteriores, conclui-se que houve uma redução na demanda faturada de aproximadamente 440 kW. No entanto, medições setorizadas, apontaram valores de redução de potência medida próximos de 630 kW.

Assim, os resultados obtidos foram os seguintes:

- Redução de Demanda no Horário de Ponta: 630 kW
- Energia Economizada: 890 MWh / ano
- Economia em Energia Elétrica: R\$ 495.000,00 / ano
- Economia em Manutenção: R\$ 240.000,00 / ano
- Tempo de Retorno Corrigido : 2,8 anos

4.8. CASO 2: MODERNIZAÇÃO DA CAG NO HOSPITAL DO CORAÇÃO

4.8.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de climatização realizadas no Hospital do Coração HCor – Associação do Sanatório Sírio, uma entidade de Tratamento de doenças cardiovasculares localizada em São Paulo / SP. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul e no final do estudo Verde do sub-grupo A4 com demanda contratada de 1.400 kW.

4.8.2. Apresentação e objetivos

O complexo do HCor apresentava inicialmente três Centrais de Água Gelada, uma para cada Prédio, com idade aproximada de 30 anos. A proposta apresentada neste caso é da substituição destas centrais por uma única central de água gelada, localizada em uma nova área no 3º sub-solo do Prédio 147, agregando o conceito de atualização tecnológica, confiabilidade operacional e eficiência energética. Esta nova CAG apresenta capacidade total de 1.299 TRs, suficiente para atender os três prédios através das respectivas bombas de água gelada secundárias, além de ter uma capacidade extra para instalações (expansões) futuras. Esta CAG é composta por 2 (dois) resfriadores operantes e 1 (um) reserva, tendo-se em vista ser imprescindível a disponibilização de água gelada em tempo integral para o desenvolvimento das atividades no hospital.

Para se obter o máximo desempenho da nova Central de Água Gelada (CAG) do Hospital do Coração, foi feita a integração do sistema de produção de água gelada a um sofisticado sistema de automação que gerencia a produção de água gelada em relação à demanda de carga térmica, através da ativação e desativação dos resfriadores de água e suas respectivas bombas de água gelada primária, bomba de água de condensação e torres de resfriamento dedicadas, bem como modula a vazão de água das bombas de água gelada secundárias, com uma eficiente interface de supervisão. Esta interface de supervisão, além de garantir alta confiabilidade operacional ao sistema de produção de água gelada, propicia o rodízio dos equipamentos para desgaste uniforme, maximizando a vida útil destes. O resultado desse trabalho de engenharia foi um sistema econômico em termos de energia inteligente, chegando a valores de 38% em relação aos resfriadores mais antigos do complexo hospitalar, em termos de controle da demanda térmica e conservação da vida útil e versátil dos componentes da CAG, proporcionando ao operador um amplo poder de supervisão e controle das diversas variáveis do processo.

O complexo HCor é formado por 3 prédios, sendo que cada um deles possuía antes do projeto, sua própria CAG. A descrição dos prédios é a seguinte:

- Prédio CD composto pelo centro de diagnóstico, ressonância magnética, tomografia, etc;
- Prédio 123 composto pelo centro cirúrgico, auditório, UTI, UCo e internação;
- Prédio 147 composto por 8 andares de internação, UTI, auditórios, farmácia, hemodinâmica, ecocardiograma e ergometria.

4.8.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

Objetivando a otimização de energia na operação da nova CAG foi adotado na elaboração do projeto, o conceito de circuito primário de água gelada, com vazão constante, e circuitos secundários de água gelada, com vazões variáveis, compatíveis com as demandas reais de cargas térmicas, em conjunto com a escolha e instalação do melhor equipamento de resfriamento de água, além de bombas (água gelada primária, água de condensação) e torres de resfriamento dedicadas, permitindo o uso mais racional dos equipamentos. Foi optado pelo compressor tipo parafuso, com consumo de 0,57 kW/TR, adoção de motores elétricos de alto rendimento e o gerenciamento automático da CAG.

Também foram incorporados inversores de frequência nas torres de resfriamento de água de condensação, considerando os seguintes benefícios:

- Economia direta de energia na operação das torres, pois, estudos demonstram que uma CAG opera à plena carga, somente 25% do tempo total de operação. Os outros 75% do tempo, operam com cargas reduzidas, necessitando, portanto, compatibilização da carga térmica rejeitada nos condensadores com a capacidade de resfriamento das torres. Tradicionalmente, esta compatibilização é feita através da operação dos ventiladores das torres em ciclos de liga/desliga. Este método, além de submeter os conjuntos moto-ventiladores a grandes esforços elétricos e mecânicos, bem como os circuitos elétricos a altas correntes a cada partida, não aproveita uma das principais características dos ventiladores, que é a potência absorvida variar com o cubo da rotação, onde, por exemplo, um ventilador operando a 80% da rotação nominal consumirá 51,20% da potência prevista.
- Economia no consumo de água de reposição para as torres, uma vez que, compatibilizando a capacidade das mesmas, evapora-se somente a água necessária, bem como, diminuindo-se a rotação dos ventiladores, diminui-se a perda de água por arraste.
- Economia no custo de tratamento de água, uma vez que diminui a reposição de água no sistema.
- Diminuição significativa do nível de ruído das torres, benefício este, bastante interessante para o complexo do HCor, tendo-se em vista que a instalação opera 24 horas e está próximo de outras edificações, inclusive residenciais.
- Prolongamento da vida útil de componentes elétricos e mecânicos, tendo-se em vista a utilização de partida em rampa e diminuição dos níveis de vibração.

4.8.4. Detalhes da implementação

A primeira fase do retrofit foi definida pela instalação de um conjunto capaz de atender os Prédios CD e 147, sendo este conjunto composto por 01 chiller de 433 TR's, 02 bombas de água gelada primária; 02 bombas de água de condensação, 02 torres de resfriamento, 06 bombas de água gelada secundária (03 para cada prédio), 01 quadro elétrico da CAG, 02 quadros elétricos das bombas secundárias e 01 quadro elétrico das torres de resfriamento. Ocorreu assim, a desativação e desmontagem da CAG que atendia o Prédio CD; pois nesta área foi montada a nova ressonância magnética.

Estes equipamentos, em conjunto com as tubulações que tinham diâmetros variando de 8" a 18", foram instalados no 3º sub-solo, exceto as torres de resfriamento que foram instaladas na cobertura do Prédio localizada no 12º pavimento. Em paralelo, foi feita a montagem da prumada nova de condensação de 10"; redes elétrica de alimentação e comando.

Após a montagem dos equipamentos, foram realizados testes locais para então serem interligados às prumadas de água gelada dos Prédios CD e 147; sendo que, para permitir a reversão dos sistemas, caso houvessem falhas, foram instaladas válvulas de manobra em locais estratégicos da instalação.

Concluídas as interligações, executadas em data e horário programado para não interromper os exames feitos no centro de diagnóstico, procedeu-se a desmontagem da central existente (chillers, bombas, rede elétrica, quadro elétrico), prumada de condensação e torres de resfriamento do CD.

A segunda fase do retrofit foi definida pela seqüência da instalação dos demais equipamentos: 02 chillers de 433 TR's, 02 bombas de água gelada primária; 02 bombas de água de condensação, 02 torres de resfriamento, 03 bombas de água gelada secundária do Prédio 123 e respectivo quadro elétrico seguida da desativação / desmontagem da central antiga.

Estes equipamentos foram montados no 3º sub-solo, ao lado dos instalados na 1ª fase; com exceção das bombas de água gelada secundárias e respectivo quadro elétrico, as quais foram instaladas no 1º sub-solo na casa de máquinas do Prédio 123.

Em paralelo a esta montagem foi instalada a tubulação de água gelada interligando a nova CAG (3º sub-solo) e a casa de máquinas do Prédio 123 (1º sub-solo), sendo esta enterrada em canaleta.

Em data programada, foi efetuada a interligação com a prumada de água gelada do Prédio 123, ressaltando que neste, estão localizados o centro cirúrgico, UTI e UCo; possibilitando na seqüência, a remoção dos equipamentos que compunham a central existente (chillers, bombas, rede elétrica, quadro elétrico), prumada de condensação e torres de resfriamento.

A terceira fase do retrofit foi definida pelo "Up Grade" das 02 torres de resfriamento existentes, pelo remanejamento e revisão das eletrobombas de água de condensação e quadro elétrico, da cobertura para o 1º sub-solo na central existente do Prédio 147 e na seqüência, pela partida da central existente do Prédio 147 em paralelo com a nova central de água gelada.

Para atender a nova CAG, foi montada uma nova prumada de água de condensação e utilizadas as prumadas existentes de água gelada.

Vale ressaltar que todos os serviços que necessitaram interromper o fornecimento de água gelada do sistema de ar condicionado, foram previamente programados em conjunto com a engenharia do HCor, de modo a causar o menor impacto ao hospital.

Para os equipamentos que não podiam, em qualquer hipótese, ficar sem refrigeração, por exemplo o chiller específico que supre a ressonância magnética, utilizou-se instalações temporárias.

Tabela 4.11 - Especificações dos equipamentos modificados

CAG - Prédio 147	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
1º sub-solo	2	Chiller	Hitachi	200	TR
	3	BAG	KSB	98,1	m ³ /h
	1	Quadro elétrico			
11º pavto -cobertura	2	Torres	Alpina	7,5	cv
	3	BAC	KSB	122,4	m ³ /h
	1	Quadro elétrico			

Tabela 4.12 - Especificações dos equipamentos que foram substituídos

CAG - Prédio CD	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
3º sub-solo	2	Chiller	Hitachi	80	TR
	4	BAGP	KSB	37,7	m ³ /h
	3	BAGS	KSB	29,1	m ³ /h
	1	Quadro elétrico			
2º pavto -cobertura	2	Torres	Alpina	5	cv
	3	BAC	KSB	47,6	m ³ /h
CAG - Prédio 123	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
1º sub-solo	2	Chiller	Hitachi	120	TR
	3	BAG	KSB	60	m ³ /h
	3	BAC	KSB	82	m ³ /h
	1	Quadro elétrico			
9º pavto -cobertura	2	Torres	Alpina	7,5	cv

Tabela 4.13 - Especificações dos equipamentos instalados

GERAL	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
3º sub-solo	3	Chiller	Trane	433	TR
	4	BAGP	Worthington	260	m ³ /h
	4	BAC	Worthington	280	m ³ /h
	1	Quadro elétrico	Siemens		
	1	Quadro automação			
11º pavto - cobertura	4	Torres	Alpina	7,5	cv
	1	Quadro elétrico			
	12	Válvulas motorizadas	RVC		
	1	Tanque de expansão	Servtec		
CAG - Prédio 147	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
3º sub-solo	3	BAGS	Worthington	120	m ³ /h
	1	Quadro elétrico			
	1	Medidor de vazão	Nivetec	300	m ³ /h
	1	Sensor de pressão	Johnson Controls	8	bar
	1	Sensor de temperatura	Andover	50	°C
CAG - Prédio CD	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
3º sub-solo	3	BAGS	Worthington	80	m ³ /h
	1	Quadro elétrico			
	1	Medidor de vazão	Nivetec	300	m ³ /h
	1	Sensor de pressão	Johnson Controls	8	bar
	1	Sensor de temperatura	Andover	50	°C
CAG - Prédio 123	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
1º sub-solo	3	BAGS	Worthington	110	m ³ /h
	1	Quadro elétrico			
	1	Medidor de vazão	Nivetec	300	m ³ /h
	1	Sensor de pressão	Johnson Controls	8	bar
	1	Sensor de temperatura	Andover	50	°C

4.8.5. Prazos

O projeto e a implantação do sistema foram realizados pela Servtec e teve a duração de 18 meses, incluindo o prazo de entrega dos equipamentos.

4.8.6. Resultados e benefícios alcançados

O retrofit da CAG do HCor foi executado com base em estudos minuciosos de engenharia e logística. Este estudo foi feito em conjunto com o setor de engenharia e obras do HCor, sendo que cada detalhe foi analisado previamente (o trajeto dos equipamentos novos; a remoção dos equipamentos antigos; as interferências; as áreas afetadas; o impacto no sistema; as manobras de válvulas, as pressões de trabalho, as redes hidráulica, elétrica, e seus encaminhamentos, o armazenamento dos materiais e equipamentos).

Foram analisados e calculados os prazos de execução, interrupção dos sistemas existentes, bem como a distribuição e o arranjo dos equipamentos no espaço físico disponível e a logística de substituição dos mesmos.

O retrofit foi executado em função dos equipamentos apresentarem rendimentos aquém da necessidade e consumo elevado de energia, bem como pelo o acréscimo de carga térmica e previsão para instalações futuras, passando a capacidade das CAG's de 800 TR's para 1350 TR's.

Cabe ressaltar também que a substituição da CAG ocorreu sem que o fornecimento de água gelada fosse interrompido em momento algum, para não comprometer o centro cirúrgico, UTI, UCo, PS, hemodinâmica e centro de diagnóstico, áreas vitais para o funcionamento do HCor.

4.9. CASO 3: UNIFICAÇÃO DE CAGS NA TELEFÔNICA

4.9.1. Características da empresa

O caso apresentado a seguir relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de climatização realizadas no edifício da Telefônica – Telecomunicações de São Paulo S.A., uma empresa do ramo de prestação de serviços em telecomunicações, localizada em Pinheiros, na cidade de São Paulo / SP. A tensão de fornecimento corresponde ao sub-grupo A4, porém, o preço da energia é negociado como consumidor livre através da compra de energia de Pequenas Centrais Hidrelétricas. As demandas contratadas são de 593 kW no horário fora de ponta e de 555 kW no horário de ponta.

4.9.2. Apresentação e objetivos

O projeto implementado na Telefônica consiste na unificação de três sistemas de geração de água gelada para condicionamento de ar, onde uma nova central passou a atender todas as áreas do edifício.

Algumas características importantes deste projeto referem-se ao modo de operação mais econômico no uso da energia e eficiente nos termos de controle da capacidade térmica. Os equipamentos modernos também proporcionam a melhor operação, possibilitando o supervisionamento das variáveis de controle como temperaturas, vazões e pressões de trabalho.

As diretrizes de realização do projeto por fases bem definidas, ficaram sob a aprovação da Telefônica, que viabilizou a implantação das medidas por intervenções no sistema de ar condicionado existente, gerenciando uma logística operacional que não comprometesse o conforto térmico do prédio por muito tempo, enquanto os equipamentos fossem substituídos.

Os equipamentos existentes antes da realização da obra estão mostrados na tabela a seguir, divididos por sistemas e pavimentos.

Tabela 4.14 - Especificações dos equipamentos substituídos

Sistema 1	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
Térreo	2	Chiller	Starco	50	TR
	2	BAG			m ³ /h
Entrepiso	2	Fancoil			cv
2º pavimento	2	Fancoil			cv
Cobertura	1	Torres			cv
Sistema 2	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
Térreo	4	Chiller	Starco	50	TR
	3	BAG			m ³ /h
3º pavimento	3	Fancoil			cv
4º pavimento	4	Fancoil			cv
5º pavimento	3	Fancoil			cv
Cobertura	2	Torres		15	cv
	4	BAC			m ³ /h
Sistema 3	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
Térreo	2	Chiller	Carrier	60	TR
	2	BAG			m ³ /h
	2	BAC			m ³ /h
	2	Torres		15	cv
6º pavimento	4	Climatizador			cv
	1	Fancoil			cv

4.9.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A medição da eficiência energética em obras de Retrofit dependeu de variáveis compreendidas por premissas adotadas nos cálculos de projeto até aos métodos de medição de parâmetros elétricos e termodinâmicos.

Os cenários adotados para a medição da eficiência energética foram antes e após a realização do retrofit, sendo o primeiro cenário o que possuía maior dificuldade, visto que grande parte das Centrais de Água Gelada - CAGs antigas, não possuíam sistemas de medição e o histórico de manutenção nem sempre mostra o status operacional ao longo do tempo. Portanto, a avaliação da eficiência energética foi um trabalho de busca de dados e muitas vezes cálculos através de dados de fabricantes.

A operacionalidade da CAG antes e após o retrofit foi de muita importância e foi um fator determinante na análise da eficiência energética da CAG, visto que a relação de kW/TR variava de acordo com o carregamento dos equipamentos.

As premissas adotadas no cálculo de carga térmica foram fatores determinantes na escolha dos equipamentos e também na eficiência energética do sistema de ventilação e ar condicionado - HVAC. A falta de informações corretas poderia levar o projetista a um superdimensionamento da CAG. Dessa maneira, os equipamentos poderiam trabalhar com carregamento baixo, acarretando uma relação de kW/TR maior.

O adequado tratamento químico da água do sistema HVAC também é um fator relevante na análise da eficiência energética. Quando ocorrem depósitos sobre as superfícies de transmissão de calor, a água de resfriamento não consegue absorver eficientemente o calor do fluido refrigerante da água gelada e do ar, reduzindo assim, o coeficiente de performance dos equipamentos. Dessa maneira pode ser observada uma redução na capacidade de transferência de calor, um consumo desnecessário de energia nos motores dos compressores, corrosão, manutenção e reparos em excesso no sistema e elevados custos com tratamento de água. A medição da diferença de temperatura do condensador indica a eficiência de troca de calor entre o gás refrigerante e a água de condensação. Esse valor de temperatura é importante para avaliar se existem incrustações e/ou deposições nos tubos de troca térmica.

A metodologia adotada conta com a participação do sistema de automação implantado no sistema HVAC que coletou dados de vazão de água gelada total da CAG, as temperaturas de entrada e retorno da água gelada no sistema dos três chillers e a potência elétrica de cada um, e dessa maneira foi possível verificar a demanda térmica total em TR do prédio e a quantidade necessária de energia para essa produção. Como anteriormente ao retrofit a instalação permitiu somente as medições térmicas e elétricas por chiller, adotou-se essa análise para os dados coletados pela automação.

4.9.4. Detalhes da implementação

Este projeto foi implementado em 7 fases, conforme descritas a seguir. A Fase 1 foi a etapa na qual os equipamentos operaram nas condições iniciais, sem nenhuma modificação. No entanto, houve uma preparação logística operacional para desligar o Sistema 1 e para o funcionamento dos sistemas 2 e 3.

Na Fase 2 iniciou-se as modificações dos equipamentos para adequação do novo sistema. Os chillers antigos foram desmontados para dar lugar aos novos equipamentos. Na cobertura houve a retirada da torre de resfriamento de água, cedendo lugar para quatro bombas de água de condensação do novo sistema, onde também foram instaladas duas novas torres de resfriamento com maior capacidade. No pavimento 2 ao 6 houve a

remoção dos antigos fan coils e a instalação de novos climatizadores de ar.

Na Fase 3 outros fan coils foram desmontados e novos climatizadores de ar foram instalados. Neste momento o novo sistema começou a operar com 2 chillers atendendo parte da demanda térmica.

Na Fase 4 o sistema 2 foi desligado para desmontagem completa e o terceiro chiller foi montado no novo sistema.

Na Fase 5 foi realizado o acoplamento da tubulação do sistema 3 com o sistema novo, que passou a operar completamente.

Na Fase 6 o sistema 3 foi totalmente desmontado.

A Fase 7 foi a fase final, na qual a obra foi encerrada e os resultados foram apresentados.

Uma obra deste porte envolveu várias atividades de modificação e instalação de infra-estrutura. Abaixo estão listadas, mais detalhadamente, essas atividades relacionadas por áreas como: estrutura civil, hidráulica, elétrica, acústica e automação.

Atividades de infra-estrutura civil:

- Demolição de bases de equipamentos antigos
- Demolição de piso
- Construção de canaletas complementares
- Construção de bases para os equipamentos novos
- Execução de abertura na parede para passagem de tubulação de água gelada e de condensação
- Execução e fechamento de furação no piso
- Pintura
- Construção da nova casa de máquinas
- Instalação de porta corta-fogo
- Impermeabilização do piso
- Destelhamento da cobertura

Atividades de infra-estrutura hidráulica:

- Drenagem de água dos sistemas 1, 2 e 3
- Desacoplamento, desmontagem e remoção da tubulação e bombas antigas
- Montagem da nova rede hidráulica de água gelada e condensação na prumada vertical externa até a cobertura

- Remanejamento e montagem da rede de dutos de descarga de ar
- Instalação do isolamento térmico
- Remanejamento da água e esgoto de sanitários e vestiário
- Instalação da nova tomada de ar externo
- Montagem de rede de dutos e bocas de ar
- Fabricação das peças de acoplamento da rede de água gelada

Atividades de infra-estrutura elétrica:

- Desligamento dos equipamentos
- Desmontagem dos quadros de alimentação antigos
- Remoção do transformador
- Remanejamento do banco de capacitores
- Montagem dos novos quadros de alimentação, seccionadoras, disjuntores e fusíveis
- Montagem dos leitos, passagem de cabos e assessórios
- Alteração do sistema de iluminação
- Remanejamento das cargas elétricas
- Instalação das tomadas na parede
- Desmontagem e montagem da malha de aterramento na cobertura

Atividades de infra-estrutura de automação:

- Instalação do quadro de automação e controle
- Instalação da infra-estrutura de controle
- Instalação dos periféricos

Atividades de infra-estrutura acústica:

- Tratamento acústico na CAG
- Montagem da estrutura metálica do atenuador de ruído das torres
- Montagem do painel de isolamento acústico
- Instalação da caixa de tratamento acústico para as bombas
- Instalação de porta acústica na CAG
- Atenuador de ruídos do ventilador
- Instalação do piso de borracha
- Fixação dos equipamentos sobre amortecedores de vibração

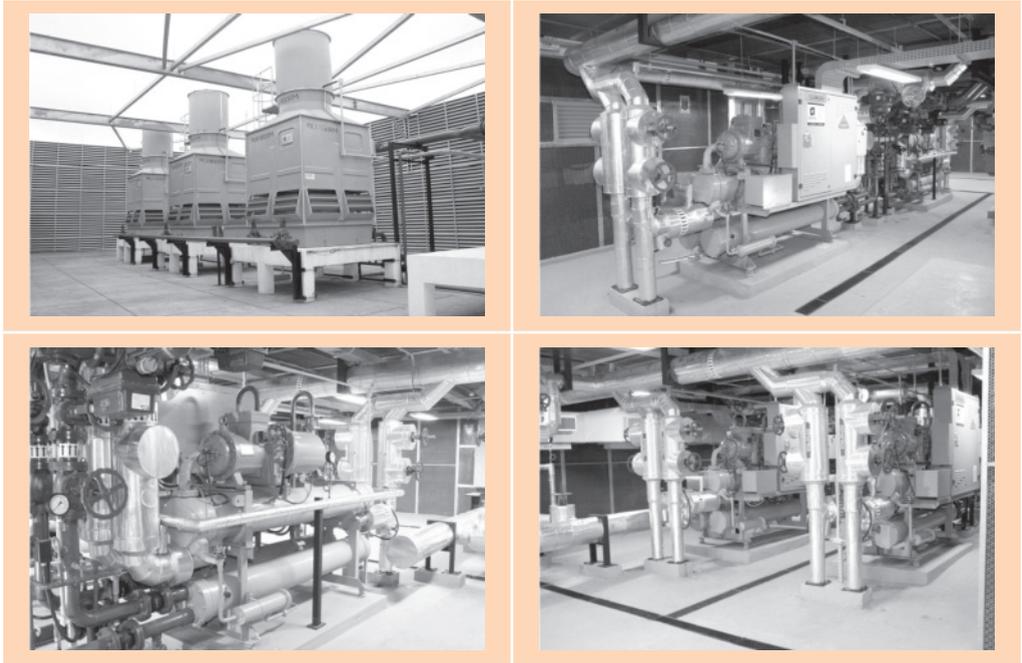


Figura 4.9 - Instalação dos equipamentos do novo sistema

A capacidade total de refrigeração instalada nos três sistemas antigos era de 420 TR, distribuídos em 8 chillers. No novo sistema, foram instalados 3 chillers com capacidades de 110 TR, totalizando uma capacidade de refrigeração igual a 330 TR. Isso foi possível devido à redução do coeficiente de performance – COP desses equipamentos.

Tabela 4.15 - Especificações dos novos equipamentos

GERAL	Qtd	Equipamento	Fabricante	Capacidade	unid.
Térreo	3	Chiller	Hitachi	110	TR
	4	BAGP	KSB	55,2	m ³ /h
Cobertura	4	BAC	KSB	69,8	m ³ /h
	4	Torres	Alfaterm	4	cv

4.9.5. Prazos

O período de implantação do novo sistema foi de 9 meses, incluindo o prazo de entrega dos equipamentos, desmontagem dos sistemas anteriores e montagem do novo, o projeto e a execução foram realizados pela Servtec.

Para se ter uma idéia da realização do projeto por pavimento e por sistema, as tabelas abaixo resumem as modificações por fase do projeto.

Tabela 4.16 - Fases do projeto localizadas por piso

Piso	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7
Térreo	▼ CH 5 e 6		▼ CH 1,2,3 e 4		▼ CH 1 e 2	Final
	▼ BAG 4 e 5		▼ BAG 1,2 e 3		▼ BAG 6, 7	
	Tubulação sistema 1		Tubulação sistema 2		▼ Tubulação Sistema 3	
	▲ CAG 1, 2	▲ Automação	▲ CAG 3		▼ BAC 5,6	
	▲ BAG 1,2,3 e 4		▼ VE 1		▲ VC 1	
Entrepiso	▼ FC 1,2					
	▲ CA 1	▲ Automação				
Pavimento 2	▼ FC 3, 4					
Pavimento 3	▼ FC 5	▼ FC 6	▼ FC 7			
	▲ CA 2	▲ CA 3				
Pavimento 4		▲ Automação				
		▼ FC 8, 9	▼ FC 10, 11			
	▲ CA 6, 7	▲ CA 4	CA 5			
Pavimento 5		▲ Automação				
	▼ FC 12	▼ FC 13	▼ FC 14			
	▲ CA 8	▲ CA 9	▲ CA 10			
Pavimento 6		▲ Automação				
	▲ CA 11	CA 12		▲ Acoplamento		
	▲ Dutos de ar	FC 15				
		CA 1E, 2E, 3E e 4E		Drenagem sistema 2		
Cobertura		▲ Automação				
	▼ TR 1		▼ TR 2, 3			
	▲ BAC 1,2,3 e 4		▼ BAC 1, 2,3 e 4		▼ TR 4 e 5	
	▲ TR 1, 2 e 3					

- ▲ instalação
- ▼ desmontagem
- BAG - bomba de água gelada
- BAC - bomba de água de condensação
- CA - climatizador de ar
- CAG - central de agua gelada
- CH - chiller
- FC - fan coil
- TR - torre de resfriamento
- VE, VC - ventilador

Tabela 4.17 - Fases do projeto identificadas por sistema

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7
Sistema 1	Operação	Parado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado	Eliminado
CH	5 e 6	▼ 5 e 6					
TR	1	▼					
BAG	4 e 5	▼					
BAC	Sistema 2	= Sistema 2					
FC	1,2,3 e 4	▼ 1,2,3 e 4					
Sistema 2	Operação	Operação	Operação	Parado	Eliminado	Eliminado	Eliminado
CH	1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	▼ 1, 2, 3 e 4			
TR	2 e 3	= 2 e 3	= 2 e 3	▼ 2 e 3			
BAG	1, 2 e 3	= 1, 2 e 3	= 1, 2 e 3	▼ 1, 2 e 3			
BAC	1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	▼ 1, 2, 3 e 4			
FC	5 ao 14	▼ 5 e 12	▼ 6, 8, 9, 13 e 15	▼ 7, 10, 11 e 14			
Sistema 3	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação	Parado	Eliminado
CH	1 e 2	= 1 e 2	= 1 e 2	= 1 e 2	= 1 e 2	▼ 1 e 2	
TR	4 e 5	= 4 e 5	= 4 e 5	= 4 e 5	= 4 e 5	▼ 4 e 5	
BAG	6 e 7	= 6 e 7	= 6 e 7	= 6 e 7	= 6 e 7	▼ 6 e 7	
BAC	5 e 6	= 5 e 6	= 5 e 6	= 5 e 6	= 5 e 6	▼ 5 e 6	
FC	15	= 15	▼ 15				
CA	1E, 2E, 3E e 4E	▲ 11	▲ 11	= 1E, 2E, 3E, 4E e 11	= 1E, 2E, 3E, 4E e 11		
Sistema Hitachi	Novo	Montagem	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação
CH		▲ 1 e 2	= 1 e 2	(▲) (3), 1 e 2	= 1, 2 e 3	= 1, 2 e 3	= 1, 2 e 3
TR		▲ 1,2 e 3	= 1, 2 e 3	= 1, 2 e 3	= 1, 2 e 3	= 1, 2 e 3	= 1, 2 e 3
BAG		▲ 1,2,3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4
BAC		▲ 1,2,3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4	= 1, 2, 3 e 4
CA		▲ 1, 2, 6, 7, 8	(▲) 1, 2, 6, 7, 8 (3, 4, 9 e 12)	(▲) 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, e 12 (5 e 10)	= 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 12	(▲) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 12 (1E, 2E, 3E, 4E e 11)	= 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 11, 12, 1E, 2E, 3E e 4E
Sistema Hidráulico		▼ Sistema 1		▼ Sistema 2	▲ Acoplamento	▼ Sistema 3, ▲ Sistema novo	

▲ Instalação

▼ Desmontagem

= Mantido

BAG - bomba de água gelada

BAC - bomba de água condensação

CA - climatizador de ar

CH - chiller

FC - fan coil

TR - torre de resfriamento

4.9.6. Resultados e benefícios alcançados

O principal resultado obtido com a substituição do sistema de ar condicionado foi a redução do consumo específico da central, apresentado na tabela a seguir.

A montagem da nova central com capacidade de 330 TR, representou uma redução de demanda da ordem de 228 kW ou redução do consumo estimado em 24,5 MWh/ano.

Tabela 4.18 - Redução do consumo específico

Antes do Retrofit		Após Retrofit	
Equipamentos analisados	kW/TR	Equipamentos analisados	kW/TR
Chillers Carrier	1,44	Hitachi	0,75
Chillers Starco			

4.10. CASO 4: MODERNIZAÇÃO DA CAG NO EDIFÍCIO FARIA LIMA

4.10.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de climatização realizadas no Condomínio Edifício Brigadeiro Faria Lima, uma empresa do ramo de Escritórios Comerciais localizada em São Paulo / SP. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Verde do sub-grupo AS com demanda contratada igual a 700 kW.

4.10.2. Apresentação e objetivos

Este estudo de caso apresenta duas linhas de medidas de eficiência energética. A primeira delas é de projetos aprovados no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, onde está o projeto principal, e a segunda de projetos que não fazem parte deste Programa.

O principal projeto, realizado pela Vitalux, aborda a substituição de uma Central de Água Gelada – CAG, no qual será proporcionado um aumento da eficiência do sistema, aumentando o conforto térmico dos ambientes e reduzindo o consumo de energia dos chillers, que passarão das atuais 1,35 kW/TR para 0,585 kW/TR, como será apresentado a seguir.



Figura 4.10 - Vista frontal do edifício

Entre os outros projetos, estão medidas para economia direta dos gastos com energia elétrica como: a substituição do sistema de iluminação dos subsolos, a geração de energia no horário de ponta e a adequação tarifária. Também foram implementadas ações para economia de água, que refletirão na economia de energia, medidas como: a substituição dos terminais consumidores de água, pesquisa de vazamentos e análise do consumo de água e lançamento de efluentes.

Na substituição do sistema de iluminação dos subsolos foram trocados os conjuntos de lâmpadas, luminárias e reatores, proporcionando um aumento no nível médio de iluminamento e obtendo uma economia do consumo e da demanda.

A geração de 1.875 kVA no horário de ponta (das 17:30 as 20:30 h), possibilitou a transferência em rampa de cargas como o Centro de Distribuição da Administração e os conjuntos privativos, através de um paralelismo momentâneo com a rede da concessionária, atendendo os requisitos das proteções de sobrecorrente instantâneo e temporizado.

Essas instalações atenderam as exigências da resolução nº 112 da ANEEL, que estabelece os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia.

Após a instalação do novo sistema de ar condicionado, o projeto foi complementado com um estudo de adequação tarifária que avaliou o comportamento do

consumo de energia de acordo com o regime de operação dos equipamentos mais relevantes e ajustou os valores de demanda contratada de forma otimizada para obter o menor custo.

Nas medidas para redução do consumo de água foi realizada a substituição dos vasos sanitários, torneiras e válvulas de mictórios por outros de baixo consumo (mecânicos e eletrônicos), mantendo o conforto e evitando o desperdício de água devido ao uso inadequado dos usuários.

Também foi feito o levantamento do perfil dos principais consumidores de água, através das instalações de medidores com saída pulsada na entrada geral da rede de água e na rede que atende o sistema de ar condicionado. Esta medição foi monitorada diariamente via web, durante todo o período do contrato, para evitar possíveis vazamentos, uso indevido dos equipamentos mais relevantes e controle do efluente lançado na rede de esgoto.

A pesquisa de vazamento foi realizada através de auscultação das redes visíveis e não visíveis, usando-se haste de escuta, geofone eletrônico e correlacionador de ruídos, sendo ratificado com o fechamento dos registros dos reservatórios inferiores e superiores, constatando-se a inexistência de vazamentos.

4.10.3 - Metodologia adotada para implantação do projeto

Considerando as modificações do sistema de ar condicionado onde ocorreu o maior investimento, e apresentada a seguir, a metodologia deste projeto conforme as etapas abaixo:

- Análise da carga térmica do Edifício, para dimensionamento da capacidade dos chillers a serem instalados;
- Análise da eficiência dos chillers antigos;
- Análise estrutural dos pisos, lajes e vigas, para aplicação e distribuição das cargas de transporte e de equipamentos;
- Dimensionamento das bombas hidráulicas, para atuar no sistema de condensação;
- Elaboração de projeto hidráulico e elétrico, de todas as medidas da obra;
- Elaboração da logística de transportes;
- Substituição de quatro chillers com compressores tipo alternativo de 200 TR, por dois chillers com compressores tipo parafuso de 400 TR;

- Reestruturação da rede de água gelada, permitindo a integração das bombas de água gelada existentes com os respectivos chillers;
- Reestruturação de condensadores evaporativos, transformando-os em torres de resfriamento;
- Instalação de uma rede de água de condensação, composta por três bombas de alto rendimento e sistema anti-vibratório;
- Reestruturação dos painéis de energia elétrica que atendem os chillers, torres de resfriamento e bombas de água gelada;
- Instalação de um painel de energia elétrica para as bombas de água de condensação;
- Instalação de um sistema de automação, para otimização do uso dos chillers, bombas de água gelada e condensação e das torres de resfriamento.

4.10.4 - Detalhes da implementação

Durante a realização do diagnóstico energético foram levantadas as principais características da CAG, constituída pelos seguintes equipamentos:

- Quatro chillers de 200 TR com compressores tipo alternativos da marca Coltex Trane;
- Quatro condensadores evaporativos da marca SEMCO BAC;
- Três bombas de água gelada secundária;
- Cinco bombas de água gelada primária.

Para levantar a eficiência dos equipamentos antigos foram usados medidores de vazão ultrassônico, medidores de temperatura digitais e medidores de grandezas elétricas para registrar as variáveis operacionais dos chillers em diversas situações, conforme o aumento do número de compressores ligados, o que variou de 1 a 6 compressores.

A tabela a seguir apresenta os rendimentos levantados nos quatro chillers existentes antes da substituição.

Tabela 4.19 - Análise da eficiência dos chillers antigos

CHILLER Nº. 1							
Nº Compressores ligados	Vazão (m³/h)	Tentrada	Tsaída	Dt	kW	TR	kW/TR
6 (40 TR)	112,4	12,2	8,8	3,4	183,4	126,38	1,45
5 (40 TR)	112,2	12,2	8,8	3,4	158,13	126,15	1,25
4 (35 TR)	108,4	11,8	9,2	2,6	118,40	93,20	1,27
3 (35 TR)	107,0	11,8	10,2	1,6	89,91	56,61	1,59
2 (40 TR)	110,3	11,1	9,5	1,6	66,70	58,36	1,14
1 (40 TR)	106,2	10,7	10,0	0,7	30,67	24,58	1,25
CHILLER Nº. 2							
Nº Compressores ligados	Vazão (m³/h)	Tentrada	Tsaída	Dt	kW	TR	kW/TR
6 (40 TR)	110,4	10,3	7	3,3	172,1	120,48	1,43
5 (40 TR)	109,7	9,4	6,1	3,3	152,41	119,71	1,27
4 (35 TR)	111,4	9,4	6,7	2,7	118,7	99,46	1,19
3 (35 TR)	107,1	9	7,2	1,8	82,9	63,75	1,30
2 (40 TR)	108,4	9,1	7,5	1,6	60,1	57,35	1,05
1 (40 TR)	108,4	9,6	8,8	0,8	25,8	28,68	0,90
CHILLER Nº. 3							
Nº Compressores ligados	Vazão (m³/h)	Tentrada	Tsaída	Dt	kW	TR	kW/TR
6 (40 TR)	compressor quebrado						
5 (40 TR)	104,0	10,6	7,6	3,0	139,71	103,17	1,35
4 (35 TR)	107,1	11,1	9,0	2,1	112,69	74,38	1,52
3 (35 TR)	109,3	11,2	10,1	1,1	82,92	39,76	2,09
2 (40 TR)	107,5	11,3	10,2	1,1	64,60	39,10	1,65
1 (40 TR)	108,0	11,2	10,7	0,5	30,84	17,86	1,73
CHILLER Nº. 4							
Nº Compressores ligados	Vazão (m³/h)	Tentrada	Tsaída	Dt	kW	TR	kW/TR
6 (40 TR)	104,9	10,0	5,6	4,40	184,65	152,63	1,21
5 (40 TR)	106,1	10,1	7,3	2,80	154,18	98,24	1,57
4 (35 TR)	100,7	10,8	8,9	1,90	86,92	63,27	1,37
3 (35 TR)	98,74	10,9	8,9	2,00	83,70	65,30	1,28
2 (40 TR)	104,1	11,2	9,6	1,60	66,13	55,08	1,20
1 (40 TR)	99,4	10,9	10,0	0,90	32,92	29,58	1,11

A tabela a seguir apresenta o resumo dos rendimentos levantados nos quatro chillers.

Tabela 4.20 - Eficiência dos chillers nas capacidades máximas

CHILLER	kW	Capacidade Total - TR	kW/TR
CHILLER Nº. 1	183,4	126,38	1,45
CHILLER Nº. 2	172,1	120,48	1,43
CHILLER Nº. 3	139,7	103,17	1,35
CHILLER Nº. 4	184,6	152,63	1,21
TOTAL	679,8	502,66	1,35

Considerando o rendimento médio dos chillers de 1,35 kW/TR e incluindo a potência dos condensadores evaporativos, o rendimento levantado para o sistema de geração de água gelada existente foi de 1,4 kW/TR.

Este levantamento mostrou que a CAG apresentava a capacidade efetiva de 502 TR, bem abaixo da capacidade nominal de 800 TR. Conforme informação obtida com a equipe responsável pela manutenção, nas épocas de calor o sistema não atendia a carga térmica do edifício, acarretando deficiências de condicionamento em diversos pavimentos.

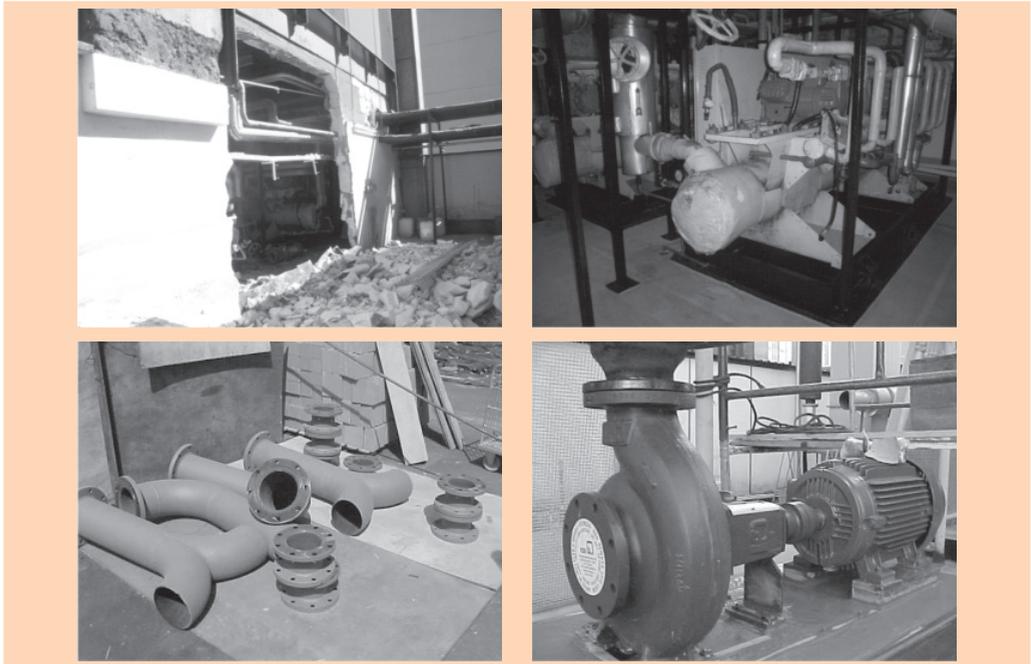


Figura 4.11a - Etapas de substituição dos equipamentos

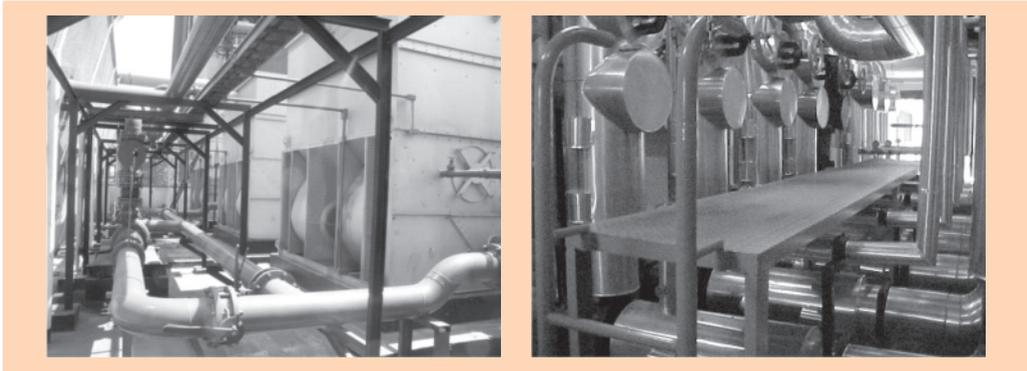


Figura 4.11b - Etapas de substituição dos equipamentos

4.10.5 - Prazos e custos

Desde o início da realização do diagnóstico energético até o período final de monitoramento dos resultados, o projeto teve a duração de um ano.

Como apresentado no cronograma detalhado abaixo, as fases de fornecimento e implantação do projeto foram as mais duradouras, levando 3 meses cada uma.

Tabela 4.21 - Cronograma do projeto

ETAPA	jan/04	fev/04	mar/04	abr/04	mai/04	jun/04	jul/04	ago/04	set/04	out/04	nov/04	dez/04
diagnóstico	█											
especificação técnica		█										
projeto		█										
suprimento			█									
fornecimento de equipamentos				█	█	█						
implantação							█	█	█			
start up										█		
monitoramento											█	█

Os investimentos realizados neste projeto estão apresentados na tabela a seguir, totalizando 1,89 milhões de reais.

Tabela 4.22 - Investimentos realizados nos projetos

Projeto	Investimento (R\$)
Substituição dos chillers	R\$ 1.215.000,00
Redução do consumo de água	R\$ 354.000,00
Substituição da iluminação, geração na ponta, gestão e automação	R\$ 330.000,00
Investimento Total	R\$ 1.890.000,00

4.10.6 - Resultados e benefícios alcançados

Após as substituições, reformas e adequações, foram levantadas as principais características da CAG, constituída pelos seguintes equipamentos:

- Dois chillers de 400 TR com compressores parafusos da marca Trane;
- Quatro torres de resfriamento da marca SEMCO BAC;
- Três bombas de água gelada secundária;
- Cinco bombas de água gelada primária.

De forma a obter um valor comparativo da eficiência do novo equipamento, foram realizadas as mesmas medições de temperatura, vazão e potência nos novos chillers. A tabela a seguir apresenta os rendimentos levantados após as substituições. As duas unidades são responsáveis por um consumo total de 316 kW com capacidade de 646 TR.

Verifica-se que os chillers antigos totalizavam uma potência de 680 kW para fornecer 502 TR operando na capacidade máxima e o sistema novo requer uma potência total de 316 kW para fornecer 646 TR com 81% da capacidade operativa, o que representa um ganho de eficiência.

Tabela 4.23 - Resultado de eficiência dos novos equipamentos

Hora	Vazão	T _{ret}	T _{env}	DIF T	Capacidade	Potência	Rendimento	Fator de Carga
	m ³ /h	°C	°C	°C	TR	kW	kW/TR	
10:15	156	12,6	6,7	5,9	304	139	0,46	76%
10:30	155	12,8	6,7	6,1	309	155	0,50	77%
10:45	155	12,8	6,7	6,1	313	151	0,48	78%
11:00	155	12,8	6,6	6,2	315	151	0,18	79%
11:15	155	12,9	6,7	6,2	315	158	0,50	79%
11:30	155	12,9	6,6	6,3	323	164	0,51	81%
11:45	155	12,8	6,7	6,1	313	150	0,48	78%
12:00	155	12,9	6,6	6,3	320	145	0,45	80%
12:15	155	12,9	6,7	6,2	317	161	0,51	79%
12:30	155	12,8	6,5	6,3	323	165	0,51	81%
12:45	154	12,9	6,7	6,2	313	151	0,48	78%
13:00	155	13,0	6,7	6,3	320	149	0,46	80%
13:15	155	13,0	6,7	6,3	319	152	0,48	80%
13:30	155	12,8	6,7	6,1	312	143	0,46	78%
13:45	154	13,0	6,6	6,4	323	155	0,48	81%
14:00	155	13,0	6,5	6,5	332	160	0,48	83%
14:15	154	13,1	6,7	6,4	326	159	0,49	82%
14:30	155	13,0	6,6	6,4	328	162	0,49	82%
14:45	154	13,0	6,6	6,4	327	158	0,48	82%
15:00	155	12,9	6,6	6,3	322	155	0,48	81%
15:15	155	13,0	6,6	6,4	327	160	0,49	82%
15:30	154	13,0	6,7	6,3	321	152	0,47	80%
15:45	155	13,2	6,6	6,6	335	168	0,50	84%
16:00	155	13,3	6,6	6,7	340	176	0,52	85%
16:15	155	13,2	6,6	6,6	335	168	0,50	84%
16:30	155	13,3	6,6	6,7	340	173	0,51	85%
16:45	155	13,2	6,6	6,6	335	171	0,51	84%
17:00	154	13,3	6,8	6,5	329	164	0,50	82%

Pelos dados apresentados na tabela anterior verifica-se que para 81% da capacidade operativa dos chillers, segundo informações passadas pelo fabricante, o rendimento estimado foi de 0,49 kW/TR.

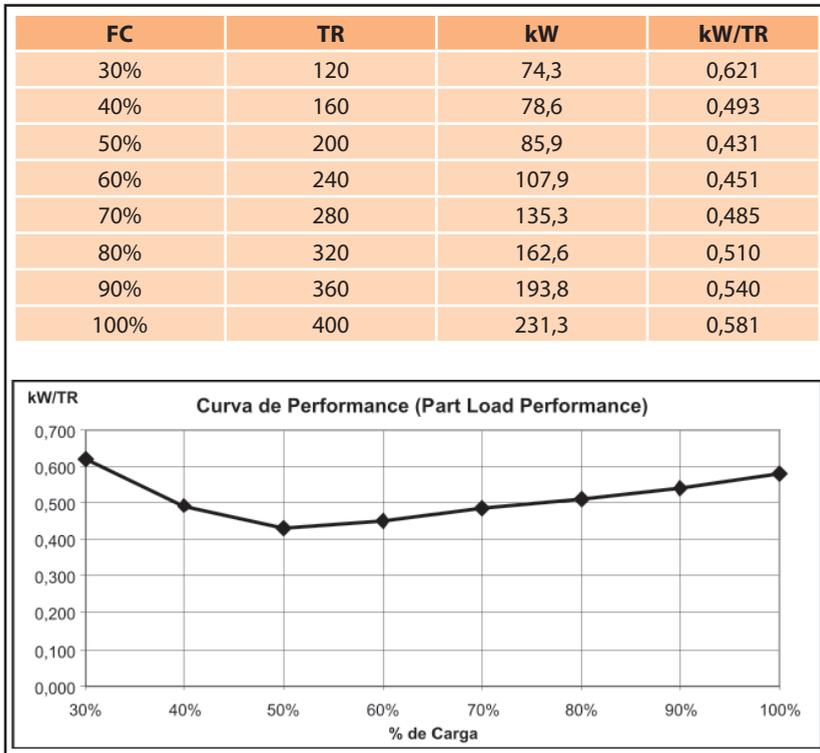


Figura 4.12 - Performance informada pelo fabricante

A variação da eficiência com o carregamento dos equipamentos também foi levantada para caracterizar o baixo consumo específico das unidades. A tabela e o gráfico a seguir apresentam os dados de rendimento do chiller da TRANE instalado em função da capacidade parcial.

Através da comparação do rendimento levantado, com cerca de 81% da capacidade, com o rendimento informado pelo fabricante a 80% da capacidade, foi verificada a coerência dos resultados obtidos.

Tabela 4.24 - Comparação dos resultados esperados

	Carregamento	Rendimento
Fabricante	80 %	0,51 kW/TR
	100 %	0,58 kW/TR
Projeto	81 %	0,49 kW/TR

Considerando o funcionamento da nova CAG de 10 horas por dia, de segunda a sexta-feira, a redução de potência gera uma economia de energia da ordem de 960 MWh/ano, representando aproximadamente R\$250 mil por ano, que somada às outras implementações totalizam R\$787 mil por ano, conforme mostrado na tabela abaixo.

Tabela 4.25 - Benefícios obtidos nos projetos

Projeto	Economia (R\$/ano)
Substituição dos chillers	R\$ 249.600,00
Redução do consumo de água	R\$ 330.000,00
Substituição da iluminação, geração na ponta, gestão e automação	R\$ 207.600,00
Investimento Total	R\$ 787.200,00

4.11. CASO 5: AUTOMAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DA CAG NO CONDOMÍNIO SÃO LUIZ

4.11.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de climatização realizadas no Condomínio São Luiz, uma empresa do ramo de Escritórios Comerciais localizada em São Paulo / SP. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Verde do sub-grupo AS com demanda contratada igual a 3.800 kW.

4.11.2. Apresentação e objetivos

Este caso de eficiência energética apresenta um projeto de substituição de centrais de água gelada (CAG), realizado pela Vitalux, onde os equipamentos antigos compostos por chillers com compressores alternativos, foram substituídos por chillers novos do tipo parafuso.

Com esta modificação, também chamada de “retrofit” da CAG, foi possível proporcionar um aumento da eficiência do sistema de ar condicionado, aumentando o conforto térmico dos ambientes, com uma redução no consumo de energia do sistema.

Além da melhoria tecnológica, o aspecto operacional desta central consiste na produção de água gelada durante o horário fora de ponta e na produção de gelo durante a madrugada para ser utilizado no horário de ponta.

4.11.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A metodologia deste projeto seguiu as seguintes etapas:

- Análise da carga térmica do Edifício, para dimensionamento da capacidade dos chillers a serem concebidos;
- Análise da eficiência dos chillers antigos, usando medidor de vazão ultrassônico, medidor de grandezas elétricas e medidores de temperatura digitais;
- Análise estrutural dos pisos, lajes e vigas, para aplicação e distribuição de cargas de transporte e de equipamentos;
- Dimensionamento das bombas hidráulicas, para atuar no sistema de condensação;
- Elaboração do projeto hidráulico e elétrico, de todas as medidas da obra;
- Elaboração da logística de transportes;
- Substituição de seis chillers com compressores alternativo de 200 TR, por três chillers com compressores parafuso de 400 TR;
- Reestruturação da rede de água gelada, permitindo a integração das bombas de água gelada existentes com os respectivos chillers;
- Reestruturação da rede de água de condensação, permitindo a integração das bombas de água de condensação existentes com os respectivos chillers;
- Reestruturação dos painéis de energia elétrica que atendem os chillers, torres de resfriamento e bombas de água gelada;
- Instalação de um sistema de automação (quadros de comandos, infra-estrutura, software), para otimizar o uso dos chillers, bombas de água gelada e condensação e das torres de resfriamento;
- Treinamento de operação dos chillers e do sistema de automação.

4.11.4. Detalhes da implementação

Na etapa do diagnóstico energético foram levantadas as principais características das quatro CAG's, constituída pelos seguintes equipamentos:

- Seis chillers de 200 TR com compressores alternativos da marca Coldex Trane;
- Um chiller de 400 TR com compressor parafuso RTHC da marca Trane;
- Duas torres de resfriamento para cada CAG;

- Cinco bombas de água gelada secundária;
- Três bombas de água gelada primária em cada CAG;
- Três bombas de água de condensação em cada CAG;
- Um sistema de termoacumulação.

No início do ciclo de operação da central houve a produção de gelo, que não necessitou das bombas de água gelada do circuito secundário. A operação de todos os equipamentos das centrais, ocorreu no condicionamento do edifício durante o horário comercial quando houve produção de água gelada. Durante o horário de ponta, o gelo armazenado foi utilizado para o condicionamento do edifício não havendo a necessidade de operação dos chillers. A tabela a seguir apresenta o regime de operação do sistema de climatização.

Tabela 4.26 - Regime operacional das centrais

Operação	Equipamentos	Horário
Produção de gelo	- BAGP's - BAC's - Torres de Resfriamento - Chillers	0:00 h as 6:00 h
Condicionamento	- BAGP's - BAGS's - BAC's - Torres de Resfriamento - Chillers	7:00 h as 17:00 h
Condicionamento na ponta (queima de gelo)	- Metade das BAGP's - Metade das BAGS's - BAC's - Torres de Resfriamento	17:00 h as 20:30 h
Sistema de ar condicionado desligado		22:30 h às 0:00 h

As tabelas a seguir, apresentam os rendimentos levantados dos chillers existentes de 200 TR com compressores alternativos, quando estão operando para produção de água gelada e gelo.

Tabela 4.27 - Eficiência dos chillers de 200 TR para produção de água gelada

TORRE 01 - CHILLER 01							
Nº. Compressores ligados	Vazão (m ³ /h)	T _{entrada}	T _{saída}	Dt	kW	TR	kW/TR
6 (B3 - 35 TR)	136,6	10,8	7,6	3,2	165,32	144,55	1,14
5 (B2 - 40 TR)	136,9	10,8	7,9	2,9	143,08	131,29	1,09
4 (B1 - 40 TR)	136,1	10,7	8,5	2,2	113,32	99,01	1,14
3 (C3 - 35 TR)	135,5	10,6	8,9	1,7	81,14	76,17	1,07
						Média	1,11

TORRE 03 - CHILLER 02							
Nº. Compressores ligados	Vazão (m ³ /h)	T _{entrada}	T _{saída}	Dt	kW	TR	kW/TR
6 (B3 - 35 TR)	167,1	10,8	8,0	2,8	178,45	154,72	1,15
5 (B2 - 40 TR)	169	11,0	8,5	2,5	151,03	139,72	1,08
4 (B1 - 40 TR)	167,9	11,1	9,4	1,8	118,10	97,16	1,22
3 (C3 - 35 TR)	172,5	11,5	10,2	1,3	85,66	74,16	1,16
						Média	1,15

TORRE 04 - CHILLER 01							
Nº. Compressores ligados	Vazão (m ³ /h)	T _{entrada}	T _{saída}	Dt	kW	TR	kW/TR
6 (B3 - 35 TR)	148,8	10,4	7,0	3,4	191,07	167,30	1,14
5 (B2 - 40 TR)	145,9	10,9	7,8	3,1	167,34	149,57	1,12
4 (B1 - 40 TR)	146,6	11,6	9,3	2,3	132,37	111,50	1,19
3 (C3 - 35 TR)	158,9	12,1	10,6	1,5	95,46	78,82	1,21
						Média	1,16

Nesta condição, esses equipamentos apresentaram uma eficiência média para produção de água gelada de 1,14 kW/TR.

Tabela 4.28 - Eficiência dos chillers de 200 TR para produção de gelo

TORRE 01 - CHILLER 1 - Produção de Gelo							
Nº Compressores ligados	Vazão (m³/h)	T _{entrada}	T _{saída}	Dt	kW	TR	kW/TR
6	95,4	3,0	0,4	2,6	133,06	82,02	1,62
	96,0	2,3	-0,4	2,7	130,26	85,71	1,52
	98,4	1,6	-1,1	2,7	131,04	87,86	1,49
	99,0	1,3	-1,6	2,9	129,18	94,94	1,36
	92,4	0,3	-2,5	2,8	128,93	85,56	1,51
						Média	1,50

TORRE 03 - CHILLER 2 - Produção de Gelo							
Nº Compressores ligados	Vazão (m³/h)	T _{entrada}	T _{saída}	Dt	kW	TR	kW/TR
6	141,4	1,1	-1,3	2,4	167,00	112,22	1,49
	141,6	0,8	-1,6	2,4	170,16	112,38	1,51
	140,3	0,6	-2,0	2,6	167,87	120,63	1,39
	140,6	0,4	-2,1	2,5	165,84	116,24	1,43
	139	0,3	-2,4	2,7	167,66	124,11	1,35
						Média	1,43

Quando os chillers foram utilizados para produção de gelo, estes equipamentos apresentaram uma eficiência média um pouco menor, sendo igual a 1,490 kW/TR.



Figura 4.13a - Etapas de substituição dos equipamentos



Figura 4.13b - Etapas de substituição dos equipamentos

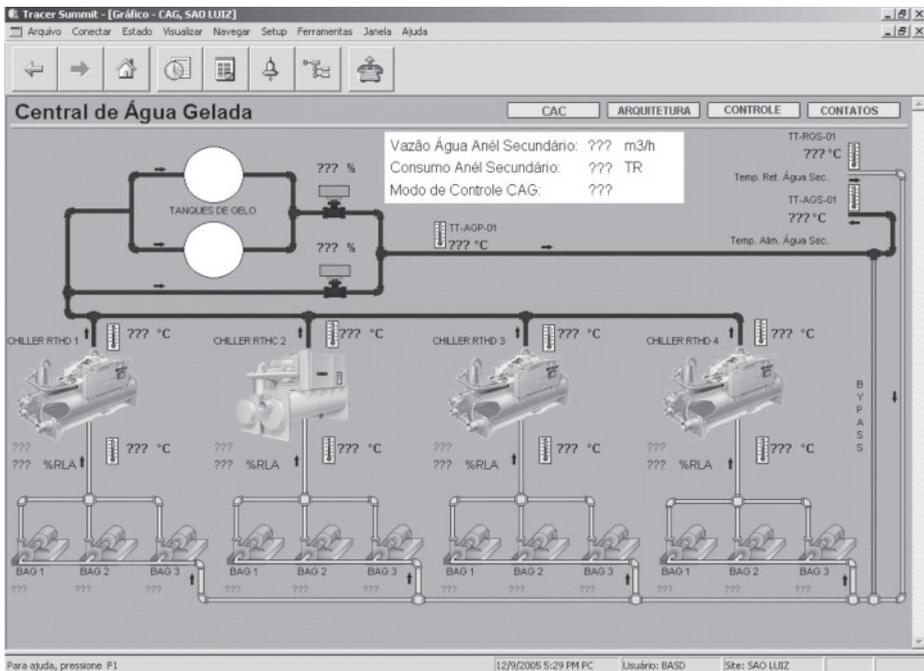


Figura 4.14 - Tela de controle do sistema superviório das CAGs

Após as substituições, reformas e adequações foram levantadas as principais características da CAG, constituída pelos seguintes equipamentos:

- Três chillers de 400 TR com compressores parafuso RTHD da marca Trane;
- Um chiller de 400 TR com compressor parafuso RTHC da marca Trane;
- Duas torres de resfriamento para cada CAG;

- Cinco bombas de água gelada secundária;
- Três bombas de água gelada primária em cada CAG;
- Três bombas de água de condensação em cada CAG;
- Um sistema de termoacumulação.

4.11.5. Prazos e custos

Desde o início da realização do diagnóstico energético até o período final de monitoramento dos resultados, o projeto teve a duração de um ano.

Como pode ser visto no cronograma detalhado abaixo, as fases de fornecimento e implantação do projeto foram as mais duradouras, levando sete meses para serem concluídas.

Tabela 4.29 - Cronograma de substituição dos chillers

ETAPA	jan/05	fev/05	mar/05	abr/05	mai/05	jun/05	jul/05	ago/05	set/05	out/05	nov/05	dez/05
diagnóstico												
especificação técnica												
projeto												
suprimento												
fornecimento de equipamentos												
implantação												
start up												
monitoramento												

O investimento total no projeto de substituição dos chillers foi de R\$1,81 milhão, incluindo os equipamentos, a mão-de-obra e a instalação.

4.11.6. Resultados e benefícios alcançados

Seguindo a metodologia de medição dos parâmetros elétricos e térmicos que permitem calcular a eficiência dos chillers das torres 1, 3 e 4 para produção de água gelada e gelo, foram então obtidos os dados de rendimento apresentados a seguir para comparação dos resultados do projeto.

Tabela 4.30 - Eficiência no novo chiller da Torre I

Produção de Água Gelada						
Vazão (m ³ /h)	T entrada	T saída	Dt	kW	TR	kW/TR
265	15,1	11,1	4,0	228	351	0,65
264	15,2	11,2	4,0	227	350	0,65
259	13,8	10,0	3,8	224	325	0,69
253	13,4	9,4	4,0	226	335	0,68
256	13,3	9,2	4,1	225	347	0,65
255	12,4	8,4	4,0	227	338	0,67
		Média	4,0	226	341	0,66

Fabricação de Gelo						
Vazão (m ³ /h)	T entrada	T saída	Dt	kW	TR	kW/TR
231	1,4	-2,2	3,6	226	275	0,82
232	0,9	-2,5	3,4	227	261	0,87
233	0,5	-2,9	3,4	230	262	0,88
233	0,1	-3,2	3,3	225	254	0,88
233	-0,3	-3,5	3,2	229	247	0,93
		Média	3,4	227	260	0,88

Tabela 4.31 - Eficiência no novo chiller da Torre III

Produção de Água Gelada						
Vazão (m ³ /h)	T entrada	T saída	Dt	kW	TR	kW/TR
256	15,3	11,1	4,2	227	355	0,64
255	15	10,9	4,1	227	346	0,66
256	14,6	10,4	4,2	226	356	0,63
254	14,3	10,3	4,0	225	336	0,67
246	13,6	9,4	4,2	227	342	0,66
254	15,3	11,1	4,2	227	353	0,64
		Média	4,2	226	348	0,65

Tabela 4.31 - Eficiência no novo chiller da Torre III (cont.)

Fabricação de Gelo						
Vazão (m ³ /h)	T entrada	T saída	Dt	kW	TR	kW/TR
295	0,3	-2,4	2,7	224	263	0,85
290	0,2	-2,6	2,8	226	269	0,84
291	0,2	-2,7	2,9	228	279	0,82
294	0,4	-2,6	3,0	224	292	0,77
296	0,4	-2,7	3,1	220	303	0,73
300	0,3	-2,7	3,0	227	298	0,76
		Média	2,9	225	284	0,79

Tabela 4.32 - Eficiência no novo chiller da Torre IV

Produção de Água Gelada						
Vazão (m ³ /h)	T entrada	T saída	Dt	kW	TR	kW/TR
222	11,6	6,9	4,7	229	345	0,66
221	11,3	6,7	4,6	225	335	0,67
220	11,1	6,6	4,5	220	327	0,67
232	10,8	6,4	4,4	228	338	0,68
229	10,7	6,3	4,4	222	333	0,67
226	10,4	5,9	4,5	226	336	0,67
		Média	4,5	225	336	0,67

Fabricação de Gelo						
Vazão (m ³ /h)	Tentrada	Tsaída	Dt	kW	TR	kW/TR
242	1,2	-2,3	3,5	221	280	0,79
240	0,9	-2,6	3,5	225	278	0,81
240	0,6	-2,8	3,4	221	270	0,82
241	0,3	-3,1	3,4	225	271	0,83
241	0	-3,3	3,3	220	263	0,84
		Média	3,4	222	272	0,82

O quadro a seguir apresenta as médias dos rendimentos levantados para os novos chillers:

Tabela 4.33 - Resumo dos rendimentos dos equipamentos

RESULTADO DOS LEVANTAMENTOS	PRODUÇÃO DE ÁGUA GELADA	PRODUÇÃO DE GELO
kW/TR Chiller da Torre I	0,66	0,88
kW/TR Chiller da Torre III	0,65	0,79
kW/TR Chiller da Torre IV	0,67	0,82
kW/TR Médio	0,66	0,83

A melhoria do consumo específico para produção de água gelada e para produção de gelo foi a seguinte:

- Produção de água gelada de 1,14 kW/TR para 0,66 kW/TR;
- Produção de gelo de 1,49 kW/TR para 0,83 kW/TR.

O projeto obteve uma economia de aproximadamente R\$370 mil por ano.

BIBLIOGRAFIA CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

ASHRAE - Handbook, "HVAC Systems and Applications", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004.

ASHRAE - Handbook, "Fundamentals", 2005.

Izard, J. L., Guyot, A., "Arquitetura Bioclimática", México, D. F. Gustavo Gili 1983.

Koenigsberger, O. H. et alii., "Vivendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales". Madrid, Paraninfo S.A., p.64, 1977.

Kuehn, T. H., Ramsey, J. W., Threlkeld, J. L., "Thermal Environmental Engineering", 3ª Ed., Prentice-Hall Inc., 1998.

McQuiston, F. C., Parker, J. D., "Heating, Ventilating and Air Conditioning – Analysis and Design", 4ª Edição, 1994.

Pizzetti, C., "Acondicionamiento del Aire y Refrigeración", Editorial Interciencia, Costanilla de Los Angeles, 15, Madrid-13, 1970.

Wang, S. K., "Handbook of Air Conditioning And Refrigeration", 2ª Ed. McGraw-Hill, New York, 2000

Capítulo 5

SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

5.1. INTRODUÇÃO

O ar comprimido é uma forma de transporte de energia de enorme utilidade e com inúmeras aplicações. Em muitos campos compete com a eletricidade e, em alguns casos particulares, somente ele pode ser usado, por exemplo, no interior das minas, onde podem existir gases explosivos, em trabalhos subaquáticos, etc.

Nas indústrias, o ar comprimido é empregado em máquinas operatrizes, em motores pneumáticos, equipamentos de movimentação e transporte de materiais, ferramentas manuais, em sistemas de comando, controle, regulação, instrumentação e na automação de processos. O ar comprimido também é usado nas instalações dos aeroportos, portos, hospitais, obras civis, nas minerações, postos de combustível, nos equipamentos de climatização e em diversos outros locais.

Uma das vantagens do emprego do ar comprimido é que o mesmo pode ser armazenado e conduzido ao local de utilização sem necessitar de isolamento térmico, como é o caso do vapor. Não oferece riscos de incêndio ou de explosão e seu emprego se faz de forma flexível, compacta e potente. Essas características explicam seu uso em escala sempre crescente.

Como principal desvantagem aponta-se o consumo maior de energia que a energia elétrica na produção de um determinado trabalho útil, o que não impede seu uso face às vantagens que oferece em determinadas situações particulares. Em razão disso, a correta utilização do ar comprimido, a operação eficiente e econômica dos compressores, que é o coração desses sistemas, é de extrema importância. Os vazamentos e as perdas que ocorrem na distribuição também são pontos que devem ser observados.

5.2. CONCEITOS TEÓRICOS BÁSICOS

5.2.1. Rendimento dos Compressores

O rendimento global dos compressores pode ser determinado por meio de cálculos simples. Basta expressar a potência útil em termos da vazão e da pressão disponível e depois fazer uma comparação entre essa e a potência que está sendo utilizada pelo motor elétrico.

A potência útil, ou a de saída, é facilmente calculada usando o seguinte artifício:

Imaginando-se um cilindro pneumático, sem atrito, cuja haste esteja se movendo com a velocidade constante e exercendo uma força também constante. A potência desenvolvida é igual a:

$$P = F \cdot v \quad (5.1)$$

Onde: P = potência [W]

F = força [N]

v = velocidade [m/s]

Colocando-se esses valores em função da área do pistão do cilindro pneumático, pois força é igual pressão vezes área e velocidade da haste é igual vazão dividida pela área, vem que:

$$F = p \cdot A \quad (5.2)$$

Onde: F = força [N]

p = pressão [Pa]

A = área [N]

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5.3)$$

Onde: v = velocidade [m/s]

Q = vazão [m³/s]

A = área [m²]

Assim, substituindo-se esses valores na expressão da potência e cancelando-se o termo da área, tem-se:

$$P = p \cdot Q \quad (5.4)$$

Desse modo essa expressão pode ser assumida como sendo a potência útil que está disponível em um fluxo de ar comprimido.

Assim, tendo-se em mãos os dados de operação de um compressor, é fácil determinar a sua eficiência. A tabela seguinte apresenta os resultados para três compressores industriais de tipos e fabricantes diferentes que podem ser encontrados no mercado nacional.

Tabela 5.1 - Faixa de rendimento de compressores

Compressor	Vazão (m ³ /min)	Pressão (bar)	Pot. Útil (kW)	Pot. Elétrica (kW)	Rendimento (%)
A	49	3,5	63	239	26,4
B	40	7,0	58	224	25,7
C	34	10,0	52	225	23,0

Aqui fica evidente a maior desvantagem dos sistemas de ar comprimido, pois os rendimentos observados são bastante baixos. E isso é inerente a esses sistemas onde esses valores são limitados por processos termodinâmicos que naturalmente rejeitam calor e perdem energia para o meio ambiente.

Por isso o uso do ar comprimido deve ser muito criterioso. Onde houver a possibilidade técnica dele ser substituído por outra tecnologia isso deve ser tentado. O ar comprimido só deve ser usado onde ele seja realmente necessário e insubstituível.

5.2.2. Compressão dos Gases

Uma das experiências físicas que pode ser comprovada com muita precisão é a que foi realizada por Clapeyron, demonstrando a Equação dos Gases Perfeitos. De fato, quando opera-se em baixas pressões e em temperaturas distantes do ponto de liquefação, o comportamento dos gases reais se aproxima muito da equação teórica que se apresenta a seguir.

$$P \cdot v = R \cdot T \quad (5.5)$$

Onde: P = pressão [Pa]

v = volume específico [m³/kg]

R = constante particular do gás [kJ/(kg.K)]

T = temperatura [K]

A constante da expressão acima depende da natureza molecular do gás e pode ser determinada experimentalmente. Para as aplicações normais com ar comprimido, a equação anterior pode ser usada com uma precisão razoável que é compensada por sua simplicidade.

Quando se comprime um gás perfeito de forma que a sua temperatura seja mantida constante, tem-se o que denomina-se *compressão isotérmica*. Nesse caso as trocas de calor deveriam ser perfeitas para que todo o calor gerador durante o processo de compressão fosse retirado. Para esse tipo de compressão podem ser comprovado que:

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 = R \cdot T \tag{5.6}$$

- Sendo: p_1 = pressão inicial [Pa]
 v_1 = volume inicial [m³]
 p_2 = pressão final [Pa]
 v_2 = volume final [m³]
 R = constante do gás [kJ / (kg . K)]
 T = temperatura [K]

Colocando-se essa relação sobre um diagrama $P \times V$ resulta uma família de hipérbolas eqüiláteras. Como pode ser visto na figura que segue.

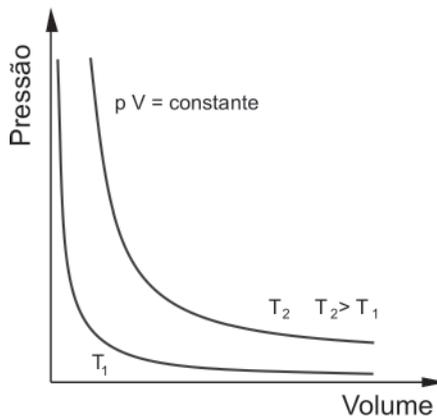


Figura 5.1 - Gráfico PxV para compressão isotérmica

Outro modo de comprimir um gás é quando não se permitem as trocas de calor, ou seja, um caso exatamente oposto ao anterior. Nessa situação o isolamento

deve ser perfeito e o processo recebe a nome de *compressão adiabática*. Nesse caso o comportamento do gás depende, além da pressão e do volume, da relação entre os calores específicos medidos em pressão e volume constantes. As relações que representam a compressão são:

$$p_1 \cdot v_1^k = p_2 \cdot v_2^k = \text{const.} \quad (5.7)$$

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

Onde: p_1 = pressão inicial	[Pa]
v_1 = volume específico inicial	[N]
p_2 = pressão final	[Pa]
v_2 = volume específico final	[N]
k = relação entre os calores específicos	[/]

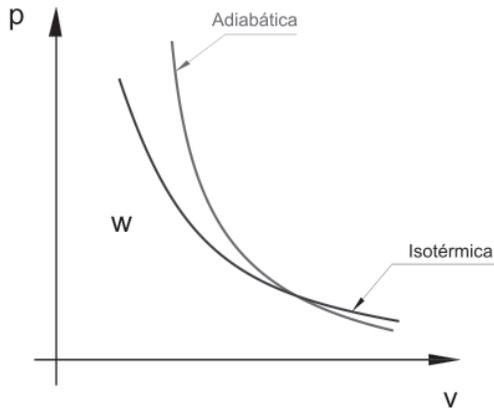


Figura 5.2 - Gráfico PxV para compressão adiabática

Os dois processos de compressão que foram mostrados anteriormente não são possíveis na prática. O primeiro exige trocas de calor perfeitas, o que implica em resistências térmicas nulas, coeficientes de película infinitos e tamanhos proibitivos, além de que a compressão teria de ser feita lentamente. No segundo caso a troca de calor é igual a zero, necessita-se de um isolamento perfeito a custo de paredes muito espessas e materiais de resistência térmica infinita.

O que mais se aproxima do que acontece na realidade é a *compressão politrópica*, um processo intermediário entre o caso isotérmico e o caso adiabático. Para

essa situação o expoente que aparece sobre o volume recebe o nome de *expoente da politrópica*. Este assume valores maiores que a unidade e menores que a relação C_p / C_v . Essa forma de compressão é governada pela seguinte equação:

$$p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n = \text{const.} \quad (5.8)$$

Onde: p_1 = pressão inicial [Pa]

v_1 = volume específico inicial [N]

p_2 = pressão final [Pa]

v_2 = volume específico final [N]

n = expoente da politrópica [/]

A próxima figura mostra estes três processos em um diagrama $P \times V$.

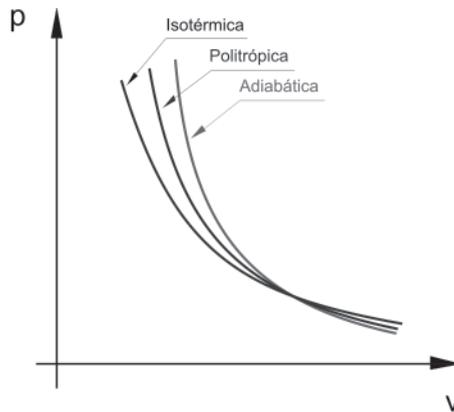


Figura 5.3 - Gráfico $P \times V$ para compressão politrópica

Observa-se que as curvas que representam a compressão politrópica e a adiabática são mais inclinadas, pois o expoente da politrópica e o valor da relação C_p / C_v é sempre maior que a unidade. A compressão politrópica pode ser considerada como uma generalização, para $n=1$ é igual a isotérmica e para $n=k$ também representa a adiabática.

5.2.3. Trabalho Teórico de Compressão

Sabe-se que o trabalho específico teórico efetuado ao se comprimir um fluxo de gás é dado pela integral mostrada adiante:

$$w = \int v \cdot dp \quad (5.9)$$

Onde: w = trabalho específico teórico [kJ / kg]

v = volume específico do gás [m³ / kg]

p = pressão do gás [Pa]

No diagrama $P \times V$ esse trabalho efetuado sobre o gás durante a compressão é numericamente igual à área delimitada pelas duas retas de pressão constante paralelas ao eixo horizontal, pelo eixo vertical e pela curva que representa o processo de compressão.

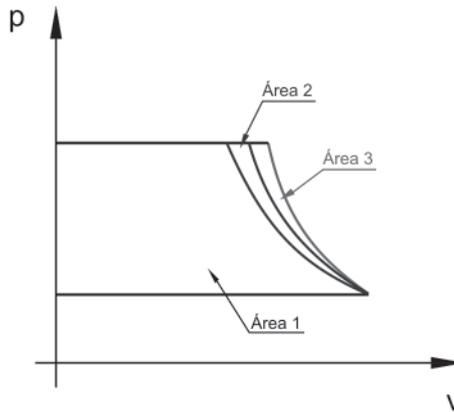


Figura 5.4 - Gráfico PxV para processo isotérmico

Na figura anterior, o trabalho específico de compressão para o processo isotérmico corresponde à Área 1. Para o processo politrópico corresponde à soma da Área 1 e da Área 2 e, para o processo adiabático a soma das três, Área 1 mais Área 2 mais Área 3.

Demonstra-se que resolvendo a integral anterior para a compressão isotérmica, resulta:

$$w = R \cdot T_1 \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \quad (5.10)$$

E resolvendo-se a compressão politrópica vem que:

$$w = \frac{n}{n-1} \cdot R \cdot T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (5.11)$$

Sendo: w = trabalho específico teórico	[KJ / kg]
n = expoente da politrópica	[/]
R = constante do gás	[kJ / (kg . K)]
T_1 = temperatura inicial	[K]
p_1 = pressão inicial	[Pa]
p_2 = pressão final	[Pa]

Pela inspeção da figura anterior ou das equações acima, verifica-se que o trabalho específico de compressão aumenta na medida em que aumenta o valor do expoente da politrópica.

5.2.4. Compressão em Estágios

Fica evidente a importância do resfriamento durante a compressão. Como a compressão isotérmica é impossível na prática, procura-se trabalhar o mais próximo dela. Uma das maneiras é o uso da compressão em estágios, que além de economizar uma parcela de energia, resulta em menores temperaturas de descarga, proporcionando maior vida útil para o equipamento. A utilização da compressão em estágios é cada vez mais atraente à medida que se aumenta as pressões de operação.

A economia alcançada com a compressão em estágios está representada na figura seguinte pelas áreas hachuradas, para um exemplo com três estágios. No limite, quando o número de estágios for muito grande, o trabalho de compressão tende ao valor mínimo, que é o trabalho da compressão isotérmica.

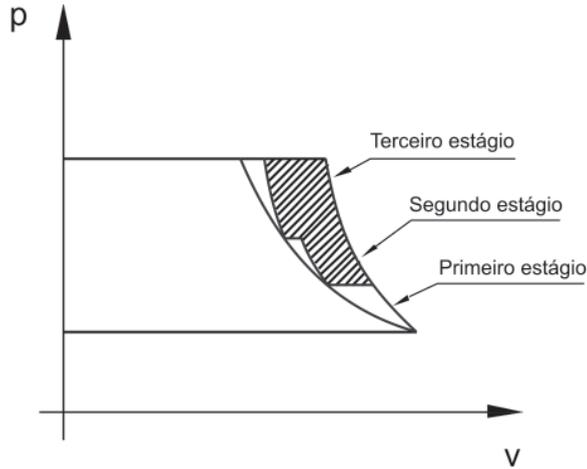


Figura 5.5 - Gráfico PxV para compressão em múltiplos estágios

O trabalho específico teórico para mais de um estágio é calculado com a equação que segue:

$$w = \frac{n}{n-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot e \cdot \left[\left(\sqrt[e]{\frac{p_2}{p_1}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (5.12)$$

Sendo: w = trabalho específico teórico [KJ / kg]

n = expoente da politrópica [/]

R = constante do gás [kJ / (kg . K)]

T_1 = temperatura inicial [K]

e = número de estágios [/]

p_1 = pressão inicial [Pa]

p_2 = pressão final [Pa]

A expressão anterior também é válida para compressores com apenas um estágio bastando fazer $e=1$.

5.2.5. Potência Real de Compressão

Com o trabalho específico teórico, a vazão mássica e os rendimentos apro-

priados, determina-se a potência real para a compressão do gás usando a equação mostrada a seguir.

$$\dot{W}_C = \frac{\dot{m} \cdot w}{\eta_t \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_{ele}} \quad (5.13)$$

Onde:

\dot{W}_C = potência real de compressão	[kW]
\dot{m} = vazão mássica do gás	[kg / s]
w = trabalho específico teórico	[kJ / kg]
η_t = rendimento termodinâmico	[/]
η_{mec} = rendimento mecânico	[/]
η_{ele} = rendimento elétrico	[/]

5.3. MELHORIA DA EFICIÊNCIA EM SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

Os principais pontos onde existem potenciais de melhoria da eficiência energética em um sistema de ar comprimido estão listados a seguir. Indica-se também qual empresa pode obter resultados positivos em implantar determinada técnica de melhoria da eficiência.

a) Diminuição da massa de ar

O consumo de energia é diretamente proporcional a vazão de ar, qualquer diminuição dessa vazão implica em redução do consumo, como pode ser visto pela equação 5.13. Um valor aceitável para os vazamentos em um sistema de ar comprimido é de no máximo 5% da vazão total. Devem ser realizadas campanhas freqüentes para a localização e correção de vazamentos. Os engates rápidos, as válvulas e as mangueiras são os locais onde os vazamentos são mais freqüentes.

Um exemplo de empresa em que os vazamentos foram muito reduzidos e controlados pode ser visto no item 5.4 mais adiante.

b) Redução da temperatura de aspiração

A temperatura de aspiração do ar também afeta no consumo de energia e na compressão, pois o trabalho específico teórico de compressão é uma função dessa

temperatura, como pode ser visualizado nas equações 5.11 ou 5.12. Isso é muito fácil de ser implementado, bastando usar alguns metros de dutos e captar o ar fora da sala de compressores. Por exemplo, quando se consegue passar da temperatura de aspiração de 35 °C para uma temperatura de 25 °C há uma economia 3,2% no consumo de energia.

Na empresa citada no item 5.6 esse benefício certamente também foi obtido pois retirou-se o ar quente de dentro da sala de compressores.

c) Redução da pressão de operação

Ainda pelas equações 5.11 ou 5.12 pode ser comprovado o efeito da pressão de descarga do compressor no trabalho específico teórico de compressão. Isso pode ser comprovado, calculando-se o trabalho específico para condições constantes e modificando-se a pressão de descarga. Como exemplo tomando o ar na pressão de 1 bar e temperatura de 30 °C, com um expoente da politrópica igual a 1,3. Para a pressão de 10 bar o trabalho de compressão é de 264 kJ / kg, quando a pressão passa para 8 bar este trabalho se reduz para 232 kJ / kg, cerca de 12% de redução.

Na empresa citada no item 5.4, foram implantadas medidas que permitiram a redução da pressão de trabalho, o que também contribui com a diminuição dos vazamentos. Isso proporcionou uma economia anual de mais 3.400 MWh e um ótimo retorno econômico.

d) Diminuição das perdas de carga

As perdas de carga obrigam que o sistema de ar comprimido trabalhe em uma pressão superior ao que deveria, tendo como consequência um maior consumo de energia. As perdas de carga têm origem no atrito do ar em movimento com as rugosidades da tubulação e conexões. Com o aumento da vazão a perda de carga também aumenta. Mas isso pode ser minimizado com o dimensionamento correto da rede, fixando que a perda máxima seja de 0,5 bar no ponto mais distante da sala de compressores. Convém ressaltar que a perda de carga é uma função inversa do diâmetro da tubulação elevado à quinta potência, então um aumento no diâmetro resulta em diminuição drástica das perdas de carga. Outros pontos onde podem surgir perdas de carga são os elementos filtrantes, os trocadores de calor e secadores inseridos no sistema que devem merecer atenção especial da manutenção, que deve colocar em prática um sistema de monitoramento desses componentes garantindo a operação mais eficiente possível.

e) Compressão em estágios

Comparando-se os resultados da equação 5.11 com a equação 5.12, verifica-se que o trabalho específico para a compressão é menor quando a mesma é feita em estágios. Essa vantagem é cada vez maior quanto maior a relação de pressão, isto é, quanto maior a relação entre a pressão de descarga e a pressão de admissão. Considerando, como exemplo, admissão do ar a 1 bar e a 27 °C, expoente da politrópica igual a 1,3 e pressão de descarga igual a 15 bar e compressão em um estágio, resulta para o trabalho específico o valor de 327 kJ / kg. Se a compressão fosse feita em dois estágios esse valor seria de 277 kJ / kg, uma redução de 15%. Caso a pressão de descarga fosse de 25 bar o trabalho em um estágio seria de 415 kJ / kg, para compressão em dois estágios o trabalho seria reduzido para 339 kJ / kg, um valor 18% menor, além da menor temperatura de descarga. A compressão em um só estágio levaria a valores de temperatura inadmissíveis, criando vários problemas de ordem técnica, tais como carbonização do lubrificante e diminuição da vida útil

f) Sistema de controle do compressor

Normalmente as demandas de ar comprimido são muito variáveis, com isso os sistemas de controle dos compressores deve ser tal que acompanhe essas variações com um mínimo de perturbação na pressão de descarga. Recomenda-se que, para os sistemas mais antigos do tipo cascata, os pressostatos mecânicos sejam substituídos por sensores de pressão eletrônicos, que permitam operar com menores faixas de ajuste. Quando possível, o sistema deve contar com controladores programáveis que possam ser codificados de forma inteligente para reduzir o consumo energético a um mínimo. A inserção de equipamentos de velocidade variável, para assumir as cargas de ponta, também é uma opção atraente do ponto de vista energético.

Como exemplo de aplicação dessa medida de melhoria da eficiência, pode ser citada a empresa mostrada no item 5.5 onde foram implantados sistemas de controle baseados em CLP's substituindo-se os obsoletos controles que empregavam pressostatos e controle cascata.

g) Aproveitamento do calor rejeitado

Grande parte da energia utilizada na compressão é transformada em calor. Esse calor pode ser utilizado como fonte de energia para um processo de baixa temperatura, como por exemplo, aquecimento de água até cerca de 90 °C ou ar quente para estufas de secagem. Essa medida pode elevar o rendimento global do sistema para cerca de 70% ou mais.

A empresa apontada no item 5.6 montou um sistema para utilizar o calor rejeitado, para o aquecimento de água usada nos banhos dos funcionários. A medida proporcionou uma economia de mais de 700 MWh ao ano.

Seguem alguns exemplos de casos de sucesso onde a aplicação dos conceitos, vistos até agora, resultou em expressivas economias de energia, cerca de 2000 MWh ao ano e um benefício de mais de R\$ 600.000,00.

5.4. CASO 1: GERENCIAMENTO DO AR COMPRIMIDO NA MICHELIN

5.4.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de ar comprimido realizadas na Sociedade Michelin de Participações, Indústria e Comércio Ltda, uma empresa do ramo de fabricação de pneus localizada em Itatiaia / RJ. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A2, com demandas contratadas iguais a 22.000 kW no horário fora de ponta e 20.000 kW no horário de ponta.

5.4.2. Apresentação e objetivos

A utilização do ar comprimido nas fábricas da Michelin é intensa, envolvendo grande número de máquinas pneumáticas no processo de conformação do pneu e trefiladeiras.



Figura 5.6 - Foto de apresentação da empresa

As principais fábricas onde foram implementadas ações de eficiência energética no sistema de ar comprimido foram CGR e CPR. Na primeira delas foi reduzida a perda de ar comprimido por vazamentos e também a pressão de fornecimento do ar comprimido. Na segunda foi reduzida a pressão de fornecimento do ar, houve a instalação de válvulas reguladoras de pressão e bloqueio de alimentação nas trefiladoras, instalação de bicos de limpeza e também, substituição da lógica pneumática.

5.4.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A metodologia utilizada para efficientização do sistema de ar comprimido foi baseada na monitoração da demanda de ar e observação dos equipamentos e linhas de ar comprimido, onde foram identificados os pontos de vazamento e oportunidades de redução da pressão de trabalho dos compressores.

Considerando que um vazamento sobre um orifício aumenta com o diâmetro e com a pressão de trabalho, se forem eliminados os vazamentos ou se a pressão de trabalho for reduzida, haverá economia de energia elétrica nos compressores.

Buscou-se então uma parceria com uma empresa terceirizada para realização da medição e correção dos vazamentos.

5.4.4. Detalhes da implementação

A eliminação de vazamentos de ar comprimido costuma ser uma ação muito viável e de baixo custo, o que requer uma monitoração constante para manter o nível de vazamentos baixo, dentro de uma faixa aceitável, geralmente até 50% da demanda total.

Para adiantar o projeto, foi contratada uma empresa que atua no setor de ar comprimido para corrigir os pontos de vazamento que representavam maior ganho potencial. Desta forma, durante as paradas de produção (Natal, Ano novo e carnaval), foram realizados testes de estanqueidade nas linhas dos principais consumidores para levantar o percentual de vazamento.

Neste caso a empresa julgou que o ganho obtido não entraria no mérito do investimento, visto que os vazamentos são desperdícios que necessitam ser corrigidos. No entanto, foi colocado que este ganho deveria ser maior que o custo da mão de obra da terceirizada para viabilizar o serviço.

Nesta mesma fábrica, também foi reduzida a pressão de produção do ar comprimido através do ajuste das pressões de carga e alívio dos compressores. Como os equipamentos não apresentaram comprometimento do rendimento com uma pres-

são de 1 bar a menos na geração, adotou-se a nova pressão como 7,5 bar ao invés de 8,5 bar como estavam ajustados anteriormente. Desta forma, foi alcançada uma redução da potência solicitada pelos compressores durante o ciclo de compressão, totalizando 155 kW a menos na potência solicitada.

Na fábrica CPR também foi reduzida a pressão de carga dos compressores passando de 7,8 bar para 7,2 bar. Com esta modificação foi obtida uma redução de 17,78 kW durante o ciclo de compressão dos compressores.

O gráfico a seguir foi obtido pela realização de medição de grandezas elétricas com intervalo de integração de 1 segundo e variando as pressões de carga e alívio dos compressores 1 e 3, que, num primeiro momento, operaram com 7,8 bar e em seguida com 7,2 bar. Durante os testes também foi colocado um compressor a 100% e outro modulando a 50% para comparação das medidas.

O gráfico abaixo mostra os resultados comparativos das potências medidas indicando a redução obtida.

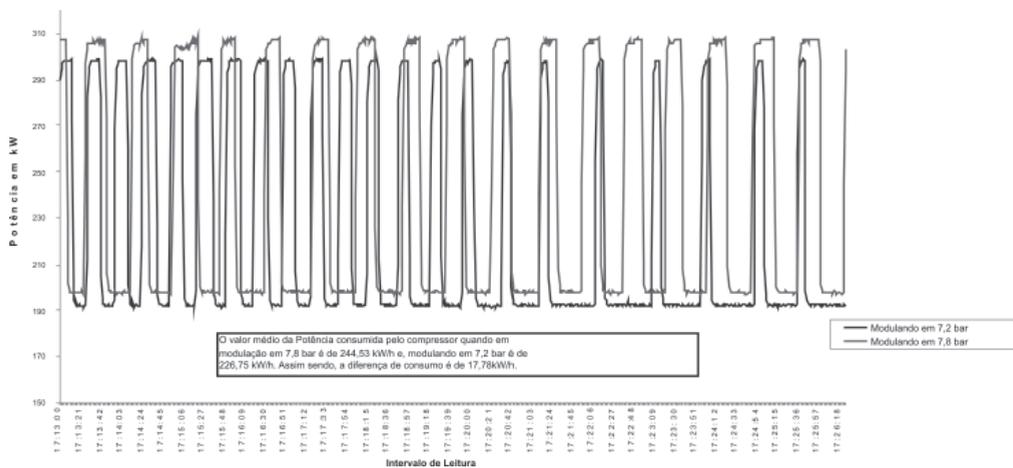


Figura 5.7 - Medições de potência do ciclo de compressão a 7,8 bar e 7,2 bar

Outra ação foi a instalação de válvulas reguladoras de pressão nas máquinas trefiladoras úmidas, permitindo assim, que a pressão de trabalho fosse abaixada de 8 para 6 bar no circuito pneumático. Desta forma, sem que fossem feitas manutenções corretivas nas linhas e componentes de ar comprimido para eliminar vazamentos, a própria redução da pressão representou uma redução da vazão por vazamentos da ordem de 26%. O teste de estanqueidade inicial indicou que havia um vazamento da ordem de 113 m³/h na linha e no uso do ar comprimido. Como este sistema funciona 24h por dia, aplicando um custo de 28 R\$/1000m³ de ar comprimido, as perdas são bastante significativas.

Tabela 5.2 - Resultados da ação nas trefiladeiras úmidas (CPR)

Resultados	Valores esperados	Valores medidos
Redução da pressão de trabalho	2 bar	2 bar
Redução dos vazamentos	29,4 m ³ /h (26 %)	36 m ³ /h (32%)
Economia esperada	R\$ 7.107,00 / ano	R\$ 8.709,00 / ano

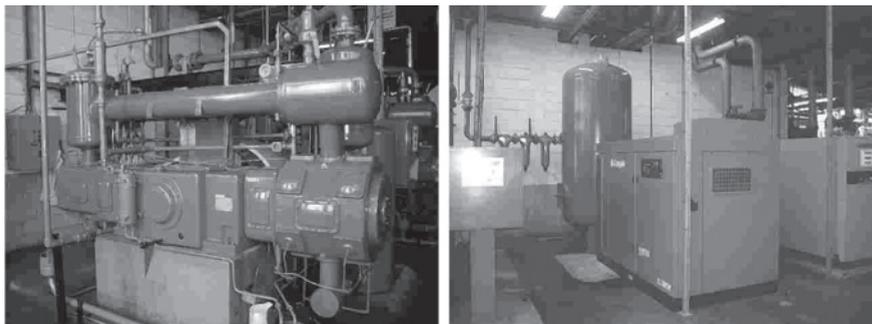


Figura 5.8 - Sala de compressores

Nas máquinas de trefilagem de fios com diâmetros até 0,23mm, foram substituídas as válvulas pneumáticas de bloqueio por válvulas elétricas, tornando desnecessário o uso do ar comprimido que era utilizado quando as máquinas estavam paradas. Foi verificado que a retirada do ar comprimido não traria riscos aos operadores nem ao processo.

As medições de vazamento mostraram que essas perdas eram da ordem de 196 m³/h neste processo.

Tabela 5.3 - Resultados da ação na trefilagem seca (CPR)

Resultados	Valores esperados	Valores medidos
Redução dos vazamentos	137,2 m ³ /h (70 %)	178 m ³ /h (90%)
Economia esperada	R\$ 33.191,00 / ano	R\$ 43.073,00 / ano

O mesmo procedimento foi implantada nas máquinas de trefilagem úmida de fios automatizadas do setor RCD1. A substituição das válvulas pneumáticas pelas elétricas permitiu a redução da demanda de ar comprimido. As medições de vazamentos nesta linha indicaram que havia uma vazão de 79 m³/h.

Tabela 5.4 - Resultados da ação nas trefiladoras úmidas (RCD1)

Resultados	Valores esperados	Valores medidos
Redução dos vazamentos	56 m ³ /h (71 %)	66 m ³ /h (90%)
Economia	R\$ 13.578,00 / ano	R\$ 16.184,00 / ano

As máquinas de trefilagem seca do setor RT possuíam bicos de limpeza ou resfriamento que utilizavam ar comprimido a 6 bar. Para estas funções foi proposta a instalação de bicos de limpeza que limitavam a vazão e a pressão em 2 bar. Como não havia controle sobre a utilização de ar para limpeza, esta medida foi bem aceita, pois não comprometeu a eficácia do processo e permitiu um maior conforto ao usuário. As perdas nesta função foram estimadas em 134 m³/h.

Tabela 5.5 - Resultados da ação na trefilagem seca (RT)

Resultados	Valores esperados	Valores medidos
Redução da pressão de trabalho	4 bar	4 bar
Redução dos vazamentos	87 m ³ /h (65 %)	119 m ³ /h (89%)
Economia	R\$ 3.266,00 / ano	R\$ 4.413,00 / ano

5.4.5. Prazos e custos

Os projetos relacionados com a efficientização do sistema de ar comprimido iniciaram em outubro de 2002 com a instalação de válvulas de bloqueio de ar para as trefiladoras e se estenderam até julho de 2003 com a substituição da lógica de controle pneumático por PLC na fábrica CPR.

Quando foi reduzida a pressão de geração do ar comprimido, não houve investimento direto, pois os ajustes dos pressostatos foram feitos internamente nos compressores mantendo a diferença de 1 bar entre carga e alívio.

Os investimentos de cada projeto podem ser analisados na tabela a seguir e totalizaram R\$240 mil.

Tabela 5.6 - Principais investimentos em projetos de eficiência energética

Data	Projeto	Investimento (R\$)
01/2003	Redução de vazamentos de ar comprimido na CGR	66.845,00
11/2002	Redução da pressão de geração do ar comprimido na CGR	-
03/2003	Redução da pressão de geração do ar comprimido na CPR	-
12/2002	Instalação de válvulas reguladoras de pressão	4.468,00
10/2002	Instalação de válvulas reguladoras de bloqueio	33.191,00
10/2002	Instalação de válvulas de bloqueio	6.931,00
01-06/2003	Substituição da lógica pneumática por PLC	125.985,00
01/2003	Instalação de bicos de limpeza	3.240,00
TOTAL		240.660,00

No projeto de redução de vazamentos na CGR não foram computados como investimentos os equipamentos que foram substituídos, pois foi considerado que estes já seriam substituídos pela manutenção corretiva.

5.4.6. Resultados e benefícios alcançados

A redução das perdas por vazamentos, a substituição de válvulas quando havia uso desnecessário do ar comprimido e a substituição do controle, propiciaram uma economia significativa de ar comprimido, disponibilizando-o para outras áreas que apresentava maior demanda e gerando uma redução do consumo de energia dos compressores.

Os benefícios estão apresentados na tabela a seguir e totalizaram R\$303 mil resultando um tempo de retorno simples para os projetos de 9,5 meses.

Tabela 5.7 - Benefícios alcançados com os projetos

Projeto	Energia (MWh/ano)	Demanda (kW)	Benefício (R\$/ano)
Redução de vazamentos de ar comprimido na CGR	138	16	64.883,00
Redução da pressão de geração do ar comprimido na CGR	1.338	155	88.327,00
Redução da pressão de ar comprimido na CPR	154	17,8	12.752,00
Instalação de válvulas reguladoras de pressão – trefiladoras úmidas na CPR	132	15,3	8.709,00
Instalação de válvulas reguladoras de bloqueio – trefilagem de fios na CPR	653	75,6	43.073,00
Instalação de válvulas de bloqueio – trefilagem úmida de fios automatizada na CPR	245	28,4	16.184,00
Substituição da lógica pneumática por PLC na CPR	729	84,4	65.076,00
Instalação de bicos de limpeza – trefilagem seca na CPR	55	6,3	4.413,00
TOTAL	3.444	398,8	303.417,00

5.5. CASO 2: GERENCIAMENTO DE AR COMPRIMIDO NA 3M DO BRASIL

5.5.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de ar comprimido realizadas na 3M do Brasil Ltda, uma empresa do ramo químico localizada em Itapetininga / SP. A estrutura tarifária no início do estudo corresponde à tarifa horo-sazonal Azul do sub-grupo A3a com demandas contratadas iguais a 3.900 kW no horário fora de ponta e no horário de ponta.

5.5.2. Apresentação e objetivos

Este projeto fez parte do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL, através de uma contratação de serviços entre a concessionária Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), a 3M - Itapetininga e a ESCO (Ecoluz S.A.).

A abrangência deste projeto foi além da troca dos compressores, onde foi realizada a modernização do sistema de iluminação das áreas industriais e da área externa, ocorreu também a implantação de um sistema de gerenciamento de energia elétrica, com a instalação de transdutores de energia elétrica eletrônicos, em 30 locais na planta industrial. Isto permitiu um gerenciamento maior sobre a energia elétrica e seu impacto, o que antes era feito por um critério de rateio.

O setor responsável pelos estudos de eficiência energética na 3M entende que, na geração do ar comprimido, é viável ter equipamentos mais modernos, por isso gerenciaram detalhadamente os resultados dos projetos e decidiram investir, com capital da empresa, na compra para substituição dos outros três compressores que fazem parte da central de ar comprimido.

O objetivo do projeto foi aumentar a eficiência na geração do ar comprimido. Desta forma, limitando-se à troca que foi feita com recursos do PEE, serão apresentadas as informações da instalação de dois compressores de ar comprimido, do tipo parafuso, sendo um deles com inversor de frequência.

A operação do sistema de ar comprimido utilizado pela 3M antes da implantação do projeto de eficiência energética era de controle por cascata. Cada compressor era ajustado para um ponto mínimo e máximo de pressão de operação, representando pressões de carga e alívio respectivamente. O acionamento de cada um era feito em seqüência, de acordo com o nível de queda de pressão na linha, e conseqüentemente, de demanda de ar comprimido do sistema.

5.5.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

O desenvolvimento deste trabalho seguiu uma metodologia baseada na experiência de trabalhos similares já realizados em diversas instalações industriais. De forma resumida, a metodologia adotada neste trabalho constou das seguintes etapas:

- Análise prévia da documentação (diagramas unifilares, históricos do consumo de energia elétrica).
- Visitas aos locais para conhecimento das instalações e identificação dos ambientes;

- Medições de grandezas elétricas com analisadores/registradores nos circuitos elétricos de ar comprimido;
- Entrevista com o pessoal de Operação, Processo e Manutenção para coletar informações sobre aspectos operacionais, necessidades de processo e conservação dos equipamentos;
- Análise estatística dos parâmetros históricos de utilização de energia elétrica;

5.5.4. Detalhes da implementação

No controle por cascata, quando a demanda de ar comprimido era pequena, somente um compressor entrava em operação, e à medida que a demanda aumentava, os outros compressores eram acionados. Quando utilizados pressostatos convencionais, era necessário manter uma diferença mínima de 0,5 bar entre a pressão mínima e máxima de acionamento de cada compressor individual. A diferença entre as pressões máximas e mínimas entre os compressores não poderia ser inferior a 0,3 bar.

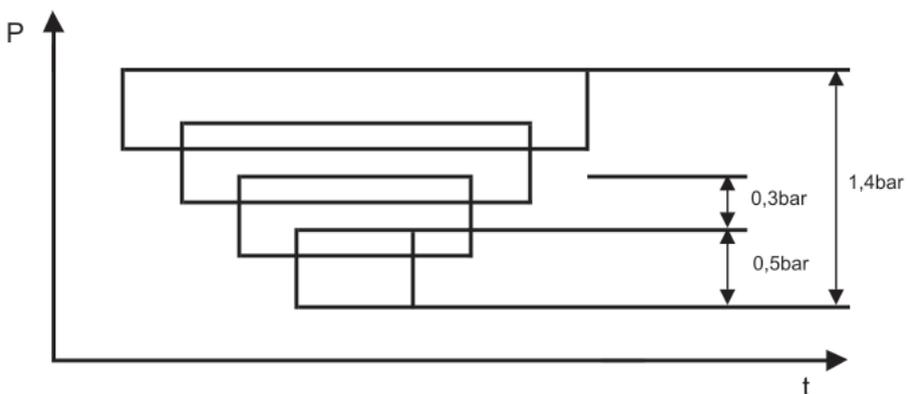


Figura 5.9 - Regime operacional em cascata

A queda de pressão em um sistema com quatro compressores pode chegar a 1,4 bar. O ajuste da 3M estava com pressão mínima de 6 bar e máxima de 7,4 bar, ou seja, 1,4 bar de largura de banda de pressão. Estima-se que a cada 1bar de pressão média reduzida, havia uma economia de 7% em relação ao consumo específico e de 13% em relação aos vazamentos da instalação. Em relação a vazamentos é normal existir até 20% de vazamento na planta.

Já os controles centralizados, são sistemas eletrônicos que coordenam o funcionamento de um conjunto de compressores, os quais devem permitir o seu gerenciamento, a transmissão e recebimento de dados para o controlador central. Os compressores são agrupados de acordo com sua função (carga básica ou de pico),

podendo ser de potências iguais ou diferentes.

A coordenação dos compressores é uma atividade complexa e o controle centralizado deve ser capaz, não só de gerenciar o funcionamento dos compressores, como permitir a utilização uniforme dos mesmos, garantindo uma utilização e desgastes parecidos entre todos os compressores, reduzindo os custos de manutenção.

Na 3M foi instalado um gerenciador para os compressores que realizavam as funções citadas acima, além de um ajuste de largura de banda de 0,4 bar, ou seja, 1 bar a menos do que o controle cascata anterior, o que proporciona os ganhos já citados.

Também foi instalado um sistema supervisorio para armazenar as informações do gerenciador dos compressores.

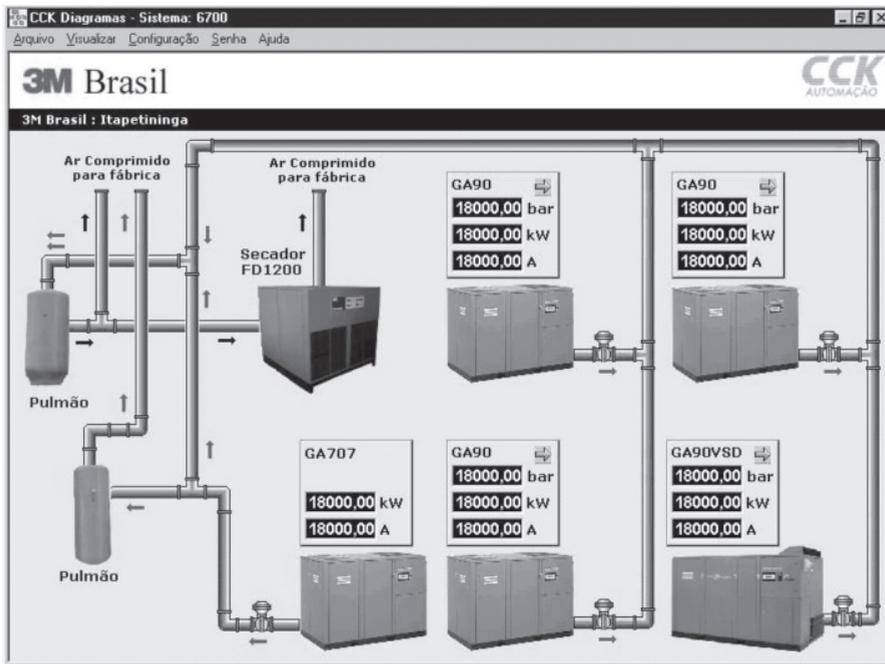


Figura 5.10 - Tela principal do sistema supervisorio

Através deste sistema instalado, foi possível armazenar variáveis, de tal maneira a tomar ações gerenciais que permitissem realizar uma manutenção preditiva eficaz, sempre com a intenção de redução de custos, associado ao trabalho na melhor faixa de rendimento dos equipamentos, por consequência do sistema como um todo.

Conforme mostrado, a central de ar comprimido tem 6 compressores, sendo 1 deles com controle de vazão por variação da velocidade, no modelo GA90VSD.



Figura 5.11 - Compressor com controle de vazão por variação da rotação

5.5.5. Prazos e custos

O projeto foi implementado em 4 meses, estendendo-se até final de 2005.

O investimento foi de aproximadamente R\$200.000,00 com a compra de dois compressores (1 com controle de vazão por variação da velocidade), um sistema de gerenciamento da central de ar comprimido com controlador e medidor de vazão, e o serviço de instalação.

5.5.6. Resultados e benefícios alcançados

Para se calcular a economia obtida a partir das ações de eficiência energética no sistema de ar comprimido foi necessário determinar as condições de referência, ou seja, os parâmetros iniciais operacionais levantados em serviço de campo antes da implementação do novo sistema.

Tabela 5.8 - Condições de referência – Sistema em cascata

Compressor	Pressão máx de trabalho (bar)	Fabricante	P(cv)	Q(m ³ /h)	Modelo	Ano de Fabricação	Refrigeração
1	7,4	Atlas Copco	125	1072	GA90	2004	ar
2	7,3		100	504	GA707	1986	água
3	7,4		175	1134	GA1107	1986	água
4	7,4		125	1072	GA90	2003	ar
5	7,3		100	504	GA707	1986	água
Total			625	4.286			

A medição elétrica abaixo, mostra uma semana típica de consumo de ar comprimido enquanto operavam os cinco compressores simultaneamente. A demanda média foi de 392 kW.

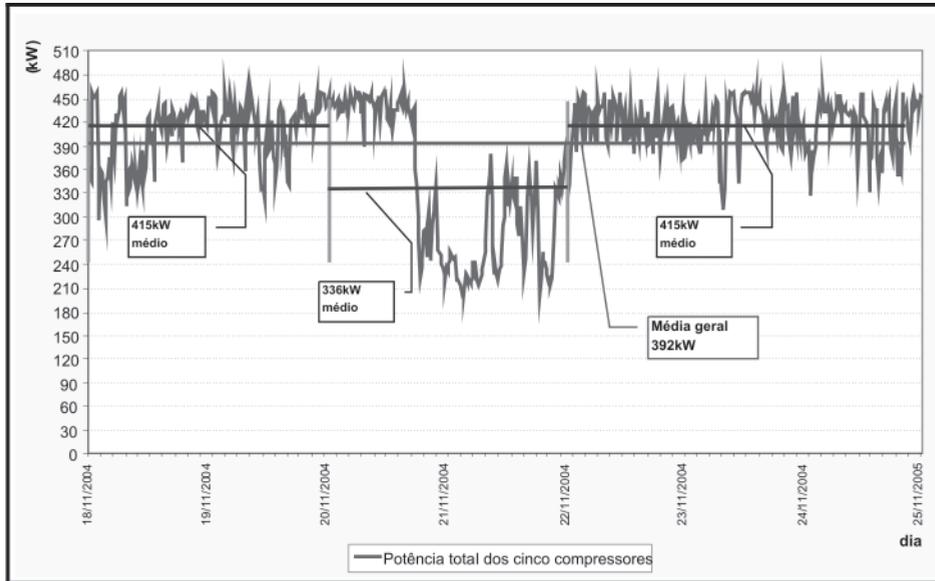


Figura 5.12 - Medição do sistema anterior

Este valor ainda não contempla a retirada de demanda com a extração do bombeamento e arrefecimento da água de resfriamento, utilizada nos “after-coolers” do sistema de compressão de ar, utilizado pelos compressores antigos.

Tabela 5.9 - Sistema de ar comprimido – Sistema controlado

Compressor	Pressão máx de trabalho (bar)	Fabricante	P (cv)	Q (m³/h)	Modelo	Ano de Fabricação	Refrigeração
1	7,4	Atlas Copco	125	1072	GA90	2004	ar
2	13,0		125	958	GA90VSD	2004	ar
3	7,4		125	1072	GA90	2004	ar
4	7,4		125	1072	GA90	2003	ar
5	7,3		100	504	GA707	1986	água

	P(cv)	Q(m³/h)
Total	600	4.678

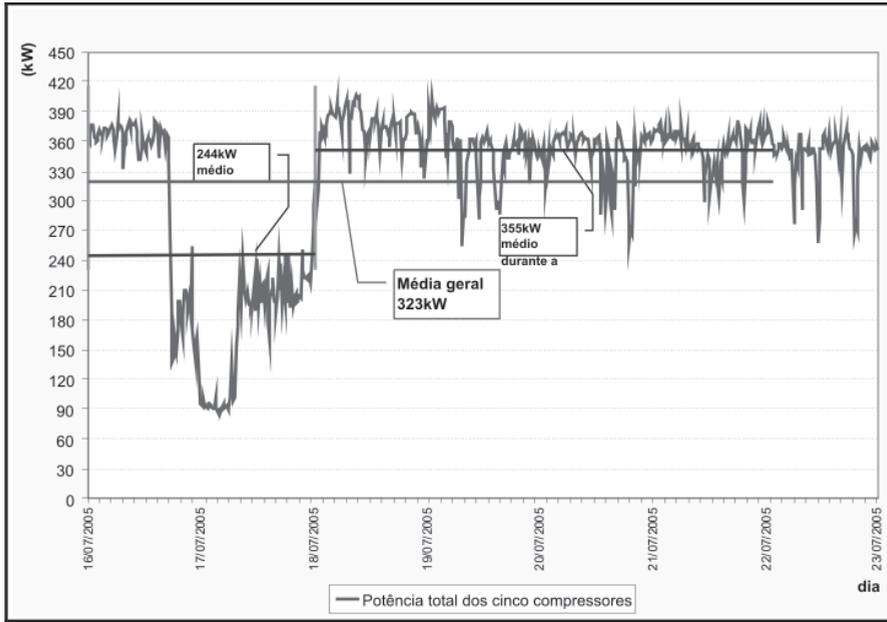


Figura 5.13 - Potência do sistema de ar comprimido

A medição realizada após a implementação do sistema de ar, apresentou uma potência média de 323 kW, também operando com cinco compressores, havendo uma redução média de demanda de 69 kW.

Considerando a carga retirada do sistema de bombeamento de 20 cv, mais a redução de demanda média, chega-se a uma demanda total de 69 kW mais 14,7 kW, ou seja, 83,7 kW.

Considerando o regime operacional do sistema de ar comprimido de 6000 horas por ano, chega-se a uma economia de energia elétrica anual de 502 MWh, representando ao custo da energia na época R\$90.360,00 por ano. Como benefício adicional, também foi obtida uma redução de gastos com manutenção.

5.6. CASO 3: RECUPERAÇÃO DE CALOR EM COMPRESSORES NA BELGO BEKAERT

5.6.1. Características da empresa

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência em sistemas de ar comprimido realizadas na Belgo Bekaert Ltda., uma empresa do ramo metalúrgico de trefilaria para fabricação de arames, localizada em Contagem / MG. A tensão de fornecimento equivale ao sub-grupo A2, porém, o preço da energia é negociado como consumidor livre. As demandas contratadas são iguais a 16.800 kW no horário fora de ponta e 15.800 kW no horário de ponta.

5.6.2. Apresentação e objetivos

A Belgo Bekaert tem uma capacidade de produção de 810 mil toneladas anuais de arames e é líder no mercado brasileiro. Esta empresa é resultado da associação entre a Belgo, uma empresa Arcelor Brasil, que integra um dos maiores grupos de produção de aço do mundo, e a Bekaert, da Bélgica, líder mundial em arames e recobrimentos metálicos.

Este projeto teve por principal objetivo fazer a utilização da energia térmica, disponibilizada no sistema de geração de ar comprimido, para fazer o aquecimento de água. Buscando possibilidades de economizar energia elétrica em 780 banhos diários dos funcionários, a Belgo Beckaert procurou a CEMIG / EFFICIENTIA para oferecer algumas soluções de projetos de eficiência energética como alternativas para substituir o aquecimento elétrico.

5.6.3. Metodologia adotada para implantação do projeto

A metodologia aplicada na Belgo-Bekaert pode ser implementada, sem modificações substanciais, em todas as empresas que utilizam sistemas de compressão de ar e que necessitam de água quente para qualquer fim.

Com pequenas modificações, a metodologia pode ser empregada em grandes sistemas de condicionamento de ar e de refrigeração, disponíveis em empresas de pequeno, médio e grande porte.

A metodologia utilizada se baseou na aplicação de conhecimentos da área de Termodinâmica, relacionadas à Transferência de calor e Mecânica dos fluidos. Inicialmente foram analisadas três alternativas para o aquecimento da água:

- Utilização do sistema de aquecimento solar
- Utilização da energia térmica disponível na água de processo
- Aproveitamento do ar de resfriamento dos compressores de ar comprimido

Adotando estas premissas como possíveis soluções para o aquecimento da água, o projeto deu prosseguimento nas seguintes etapas:

- Realização de visitas técnicas para levantamento de informações
- Realização de medições elétricas para conhecimento da curva de carga elétrica para os chuveiros
- Elaboração de um diagnóstico energético
- Estudo técnico em Termodinâmica
- Estudo de viabilidade das alternativas
- Apresentação da proposta
- Implementação da obra

5.6.4. Detalhes da implementação

Na Belgo Bekaert existia uma central de ar comprimido com três compressores de 200 HP, totalizando uma potência instalada de 450 kW. Estes compressores eram dos modelos refrigerados a ar, o que indicou que o trocador de calor necessário era do tipo ar-água, ou seja, do ar de refrigeração do compressor para a água dos chuveiros dos vestiários.

A eficiência de um compressor varia em torno de 30%, com isso grande parte da energia é perdida na forma de calor, pois este é transferido para o ambiente externo e para o corpo do compressor.

Após a realização das visitas, foram feitas medições elétricas no quadro de distribuição geral dos chuveiros elétricos, medições estas, que obtiveram as curvas de carga elétrica de dois dias típicos de funcionamento da empresa.

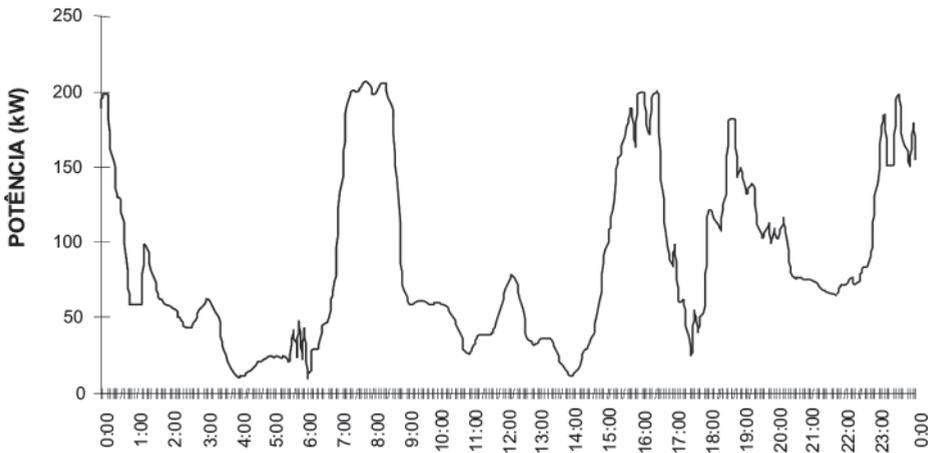


Figura 5.14 - Curva de carga elétrica para os chuveiros numa quarta-feira

A medição da quarta-feira apresentou uma potência máxima próxima de 220 kW, resultando num consumo de energia de 2.065 kWh/dia para o aquecimento elétrico da água.

A medição da quinta-feira mostrou um comportamento semelhante, com uma potência máxima de 230 kW e um consumo de energia diário de 1.947 kWh.

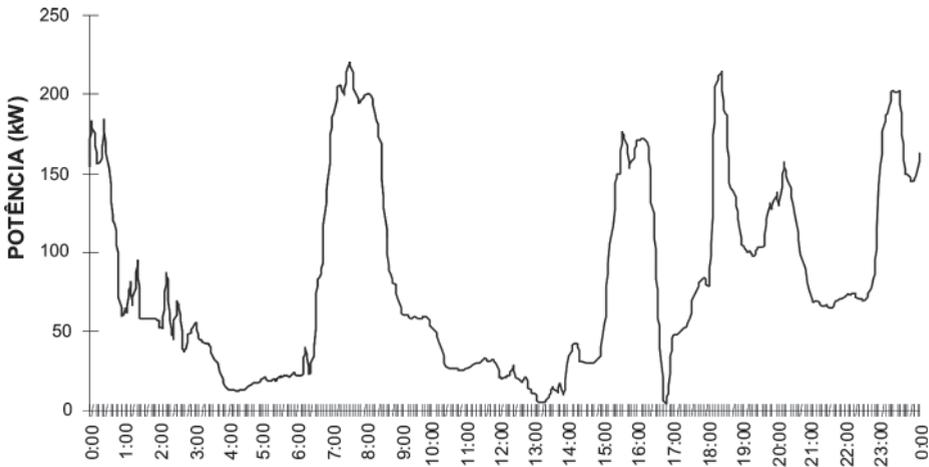


Figura 5.15 - Curva de carga elétrica para os chuveiros numa quinta-feira

Durante um dia (24 horas), cerca de 780 trabalhadores tomavam banho nos vestiários usando boilers elétricos. Em medições realizadas nos meses de julho e agosto de 2001, nas duas baterias existentes para o aquecimento de água, levantaram-se os seguintes dados:

- Bateria 1: Maior consumo no dia 03/08/2001 = 1141 kWh
- Bateria 2: Maior consumo no dia 01/08/2001 = 855 kWh

Considerando o maior consumo medido em cada uma das baterias, o consumo total era de 1996 kWh/dia ou 728 MWh/ano. A partir destas informações, estimou-se que a economia de energia proporcionada pelo projeto seria a mesma.



Figura 5.16 - Medições elétricas e dutos de ar do resfriamento dos compressores

Com estas medições, foi calculada a quantidade de energia necessária para fazer o aquecimento da água. Conhecendo as temperaturas e vazões da água e do ar, foi possível dimensionar o trocador de calor e os reservatórios de água quente nos vestiários.

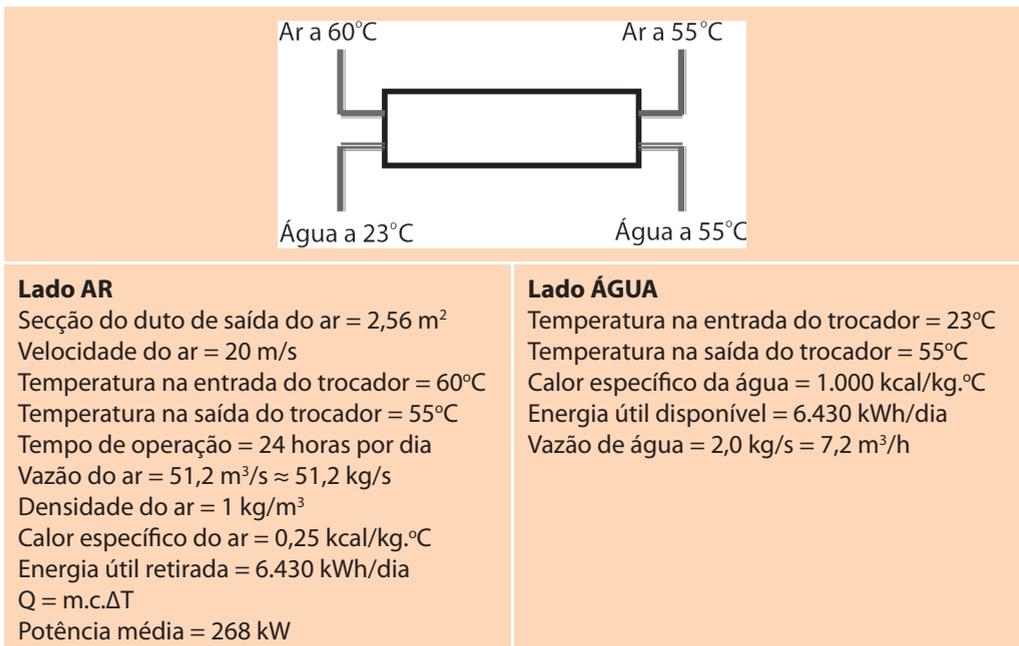


Figura 5.17 - Dimensionamento do trocador de calor

A água aquecida foi transportada para os vestiários localizados a 200 metros da sala dos compressores. O armazenamento da água foi feito em nove tanques disponibilizados para uso diário e os trocadores de calor ar-água foram dimensionados para funcionarem em série conforme o diagrama esquemático mostrado abaixo.

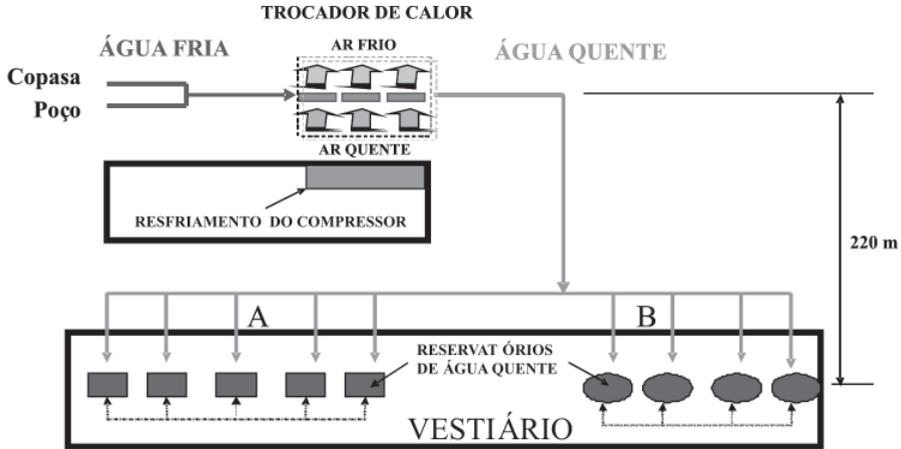


Figura 5.18 - Diagrama da proposta apresentada



Figura 5.19 - Montagem dos trocadores de calor



Figura 5.20 - Instalação dos trocadores de calor

5.6.5. Prazos e custos

O estudo inicial para elaboração do diagnóstico energético foi realizado em cinco visitas técnicas. O cronograma físico do projeto mostra as etapas dos dois ciclos anuais de atividades, conforme descritos abaixo.

- 1) Levantamento do potencial de aproveitamento de calor – medidas dos gastos energéticos do sistema de compressão de ar, dos chuveiros com aquecimento elétrico para banhos, análise das medições. Projeto dos trocadores de calor e projetos de modificações de instalações existentes.
- 2) Modificação da saída de ar de resfriamento dos compressores de ar comprimido.
- 3) Implementação final dos trocadores de calor ar-água quente. Testes experimentais de potência térmica disponível.
- 4) Acoplamento do sistema de trocadores de calor aos reservatórios de água quente próximos aos banheiros utilizando tubulações isoladas. Substituição integral dos boilers elétricos pelo sistema de recuperação de calor. Testes reais de avaliação.
- 5) Implementação de controladores de temperatura nas diversas estações do ano e sob diferentes condições de demanda de água quente.
- 6) Implementação do sistema de aproveitamento de água nos vestiários e realização de avaliações finais.
- 7) Gerenciamento - CEMIG

Tabela 5.10 - Cronograma das atividades

		Meses 2002/2003												Meses 2003/2004											
		Ab	Ma	Jn	Ju	Ag	Se	Ou	No	De	Ja	Fv	Mr	Ab	Ma	Jn	Ju	Ag	Se	Ou	No	De	Ja	Fv	Mr
1	Prev.																								
	Real.																								
2	Prev.																								
	Real.																								
3	Prev.																								
	Real.																								
4	Prev.																								
	Real.																								
5	Prev.																								
	Real.																								
6	Prev.																								
	Real.																								
7	Prev.																								
	Real.																								

Considerando o custo da energia de 160 R\$/MWh, a economia anual obtida com este projeto foi de aproximadamente R\$ 116 mil por ano, tendo um investimento em equipamentos da ordem de R\$ 317 mil.

5.6.6. Resultados e benefícios alcançados

Como resultado, houve uma economia de energia de 530 MWh por ano e uma retirada de demanda no horário de ponta de 220 kW, representada pelos chuveiros elétricos que foram desligados.

BIBLIOGRAFIA SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

ATLAS COPCO. Compressed Air engineering.

ATLAS COPCO. Compressed Air Manual.

HAHN, A. Programa de Eficientização Industrial - Compressores.

MACINTYRE A.J, Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais.

MARQUES, M; HADDAD, J; MARTINS, A. (coordenadores) Conservação De Energia.

RODRIGUES, P.S.B. Compressores Industriais.

Nogueira, F.J.H. Ar Comprimido.

Rocha, N.R, Monteiro, M.A.G. Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido – Livro Técnico.

Rocha, C.R, Monteiro, M.A.G. Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido – Manual Prático.

AGRADECIMENTOS FINAIS

Essa publicação não seria possível sem a participação e colaboração dos responsáveis pelas empresas, sejam gerentes administrativos ou técnicos, na transferência das informações e pela atenção com que nos atenderam. A todos esses co-autores, nossos sinceros agradecimentos.

Belgo Bekaert Ltda: Ronaldo Sávio Nogueira Neiva; **Buaiz S.A. Indústria e Comércio:** Adão Juliatti, Alexandre Epaminondas, Malcher Laiber; **Cifa Têxtil Ltda:** Isete R. Dariolli, Odair Dariolli, Paulo Henrique Semolini; **Companhia Tecidos Santanense:** Francisco de Assis Viana Leite, Reinaldo F. Assad; **Continental do Brasil Produtos Automotivos Ltda.:** Antonio Vendrame, Domingos Ruiz; **Condomínio São Luiz:** Antonio Augusto Vellasco Filho, Cezar Antonio Della Libera, Eliana Oddone Ribeiro; **Cocelpa Cia. de Celulose e Papel do Paraná:** Erivelto Sartor Lima, Marcos Aurélio Paes da Silva; **Condomínio Edifício Brigadeiro Faria Lima:** Maria José Figueiredo Mei, Rosana Quaiotti dos Santos, Tosca Viotto, Vicente Rizzo Colhado; **Edifício Linneo de Paula Machado:** Geraldo Morand Paixão Jr.; **Fábrica de Papel Santa Therezinha S.A. (Santher):** Joaquim Alves Silva, José Agenor P. Ramos; **Fiesp – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo;** **Hospital do Coração – Associação do Sanatório Sírio:** Feiz Caram Calil, Jorge André Bacha Santos; **Metagal Indústria e Comércio Ltda:** Ivan César Maia, José Gomes da Silva Neto; **Sociedade Michelin de Participações, Indústria e Comércio Ltda:** Fragson Carlos Carvalho de Paula, Miguel Rocha, Sérgio Silveira; **Masa da Amazônia Ltda.:** Joana D’arc Pontes, Pierre Villar Dantas, Tarcízio Nóbrega; **Telefônica – Telecomunicações de São Paulo S.A.:** Alexandre Gomes da Silva, Leandro A. Feichtenberger, Reynaldo Cunha Jr.; **Toshiba do Brasil S.A.:** João Martins, Ronaldo Ferreira de Souza; **3M do Brasil Ltda:** Daniel Mendes Filho, Helio J. R. Leme Jr., José Julio Joly Jr., Moacyr S. de Campos Jr.; **Weg Brasil:** Equipe da Seção Venda de Serviços - Motores.

ESCOS

Ecoluz S.A.: Emerson José Aguiar, Hugo Cosmo Ferreira, Flávio Masahiro Kitahara, Ricardo David; **Efficientia:** Dieter Gunter Kux, Jean de Carvalho Breves, Marco Aurélio Guimarães Monteiro, Ricardo Cerqueira Moura; **Cemig Distribuição de Energia S.A.:** José Carlos Ayres de Figueiredo; **Servtec Instalações e Manutenção:** Elias Filgueiras Elias, José Napoleão de Bem, Renata Sigg Elias; **Vitalux:** Eduardo A. Moreno, Henrique Wasserstein, Robson Salmazo.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Teoria & Prática

COORDENAÇÃO

Milton César Silva Marques (Eletrobrás/PROCEL)
Jamil Haddad (UNIFEI/EXCEN)
Eduardo Crestana Guardia

AUTORES

Afonso Henriques Moreira Santos
Edson da Costa Bortoni
Eduardo Crestana Guardia
Fábio José Horta Nogueira
Jamil Haddad
Luiz Augusto Horta Nogueira
Marcelo José Pirani
Marcos Vinícius Xavier Dias
Osvaldo Venturini
Ricardo Dias Martins de Carvalho
Roberto Akira Yamachita



Educação
Ministério da Educação

Minas e Energia
Ministério de Minas e Energia

