

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JANQUIEL FERNANDO FROZZA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIA FRIGORÍFICA;
DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO

PATO BRANCO

09/2013

JANQUIEL FERNANDO FROZZA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIA FRIGORÍFICA;
DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica - Área de Concentração: Sistemas e Processamento de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay.

PATO BRANCO

09/2013

F943e Frozza, Janquiel Fernando

Eficiência energética em indústria frigorífica; desafios de implantação –
Janquiel Fernando Frozza – 2013.

126 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Jean-Marc Stephane Lafay

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Pato Branco / PR,
2013.

Referências: f. 115-118.

1. Eficiência energética. 2. Implantação. 3. ABNT NBR ISO 50001. I. Lafay,
Jean-Marc Stephane, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD (22. ed.) 621.3

Catálogo na Fonte por Elda Lopes Lira CRB9/1295



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 021

Eficiência energética em indústria frigorífica; desafios de implantação.

por

Janquiel Fernando Frozza

Dissertação apresentada às oito horas e trinta minutos do dia vinte e oito de agosto de dois mil e treze, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA, Linha de Pesquisa – Processamento de Energia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (Área de Concentração: Sistemas e Processamento de Energia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

**Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de
Souza**
UNIOESTE

**Prof. Dr. Carlos Marcelo de Oliveira
Stein**
UTFPR/PB

Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay
UTFPR/PB (Orientador)

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Emerson Giovani Carati
Coordenador do PPGEE

*O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do PPGEE.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Jandir Frozza e Vanilda Teresinha Frozza pelo incentivo e pela paciência, principalmente nos momentos mais difíceis, durante a realização deste mestrado; e a minhas irmãs Sandra Nívea Frozza Saldanha e Sara Jane Frozza Kamimura pelo incentivo para estudar e progredir na vida.

Aos amigos Vitor Baldin e Alessio Comelli pelos momentos de estudo e partilha de conhecimentos, não só para o mestrado, como também para a vida.

Ao meu orientador Jean-Marc Stephane Lafay pela orientação neste mestrado.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudos. Às agências de fomento (CAPES, CNPq, FINEP, Fundação Araucária e SETI) pelo suporte financeiro aos laboratórios. À Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco pela oportunidade para a realização deste mestrado.

Aos profissionais Ivan Fernando Lima, Cassiano Alba e Cleo Foggiato por colaborarem na pesquisa de campo desse projeto.

“Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou...”

(Eclesiastes 3:2)

RESUMO

FROZZA, J. F. **Eficiência energética em indústria frigorífica; desafios de implantação.** Proposta de Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

Esta pesquisa tem por objetivo efetuar uma investigação acerca da eficiência energética nas indústrias, com foco na identificação dos potenciais de conservação de energia e possíveis barreiras para se implantar um sistema de gestão de energia, tendo como principais motivações o lançamento do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que prevê uma grande economia de energia para os próximos anos, e da norma ABNT NBR ISO 50001-Sistema de gestão de energia. Num primeiro instante, fez-se um estudo dos principais métodos de gestão e eficiência energética que estão sendo empregados nas indústrias. Após o desenvolvimento de estudos preliminares, realizou-se uma auditoria energética em um frigorífico de abate de aves situado na região Sudoeste do Paraná. Nesta auditoria foram estabelecidos os centros de maior consumo, as linhas de base dos principais insumos energéticos e potenciais de conservação de energia dos principais módulos temáticos. Verificou-se que o sistema de refrigeração representa aproximadamente 81% do consumo de energia elétrica da planta e que do total de 11 módulos temáticos existentes, três deles representam aproximadamente 97% do consumo de energia elétrica da planta, sendo motores, sistema de refrigeração e sistema de ar comprimido. Constatou-se também, com uma análise econômica de perdas, que há potenciais de conservação de energia, principalmente em motores. Por fim, identificaram-se as principais barreiras para se implantar um sistema de gestão de energia em uma planta, principalmente no que se refere à elaboração de linhas de base e indicadores de desempenho energético. Tais barreiras demonstram uma falsa expectativa do PNEf para alcançar as atuais metas se não houver maior impacto dos progressos induzidos (por políticas públicas).

Palavras-chave: eficiência energética, implantação, ABNT NBR ISO 50001.

ABSTRACT

This research has an objective to investigate the electrical power efficiency in industries, aiming to identify potential energy saving and possible barriers to deploy an energy management system, having as one of its priorities the main motivations to the release of a National Plan of Electrical Efficiency (**NPEE**), in which forecast a great power saving for the following years and the norm **ABNT NBR ISO 50001**-Energy management system. At a first moment, a study was made about the main methods of electrical efficiency management, in which are being introduced in industries. After the development of preliminary studies, an electrical audit was carried out in a poultry slaughter cooler on the southwest region of Paraná. On the audit were established the centers of greater consumption and the baselines of the main energetic inputs and potential ways of electrical energy saving from the main thematic modules. It has been verified that the cooling system represents approximately 81% of electrical energy consumption of the plant and of the total of eleven modules; three of them represent approximately 97% of the power consumption of the entire plant, as engines, cooling system and compressed air system. It has been also found out, with an economic analysis of losses, there are potentials means of power saving, especially when it comes to engines. At last, was identified the main barriers to deploy an energy management system in a plant, mainly as regards the elaboration of baselines and indicators of electrical performance. These barriers have shown a fake expectation of the **NPEE** to reach the present goals if there's no impact on the progresses prompted (by public politics).

Key words: Power efficiency, deployment and **ABNT NBR ISO 50001**

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Consumo final de energia e PIB no Brasil entre 2003 e 2012	18
Figura 2 - Consumo final de energia por fonte entre 1970 e 2012 no Brasil	19
Figura 3 - Modelo de sistema de gestão de energia	30
Figura 4 - Requisitos de uma auditoria energética	31
Figura 5 - Etapas de uma auditoria energética	31
Figura 6 - Distribuição de perdas em sistemas de ar comprimido.....	51
Figura 7- Curva típica de conjugado <i>versus</i> rotação em motor de indução	58
Figura 8 - Curva de rendimento <i>versus</i> vazão	61
Figura 9 - Fluxograma da metodologia empregada no trabalho.....	70
Figura 10 - Consumo de energia setorial em porcentagem	84
Figura 11 - Linha de Base Energia Elétrica	85
Figura 12 - Linha de Base de Lenha	86
Figura 13 - Linha de Base de Óleo Diesel	87
Figura 14 - Potenciais de conservação de energia em sistemas de refrigeração e ar comprimido.....	106
Figura 15 - Consumo de energia elétrica antes e após AEE	107
Figura 16- Etapas elaboração SGE.....	108
Quadro 1- Módulos temáticos	41
Quadro 2- Módulos temáticos modificados	41
Quadro 3 - Rotina de controle do óleo dos transformadores.....	67
Quadro 4 - Dados referentes a contrato de energia.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados anuais do Procel entre 2007 e 2011	26
Tabela 2 - Investimentos e custeios dos programas Procel entre 2007 e 2011	26
Tabela 3 - Faixa de aplicação de compressores.....	52
Tabela 4 - Constantes para cálculo decorrente	60
Tabela 5 - Máxima temperatura admissível de componentes	64
Tabela 6 - Definição de fronteiras para especificar equipamentos de medição	72
Tabela 7- Quadros para medição de potência.....	74
Tabela 8 - Temperatura recomendada para os ambientes	77
Tabela 9 - Demanda média medida nos principais quadros elétricos.....	83
Tabela 10 - Consumo de energia elétrica por setores/módulos temáticos	84
Tabela 11 - Consumo das fontes de energia e produção entre os anos de 2011 e 2012	85
Tabela 12 - Dados de contas de energia entre os meses de janeiro a dezembro de 2011	88
Tabela 13 - Dados de placa e medição de corrente dos motores	90
Tabela 14 - Dados de placa e medição de corrente das bombas.....	90
Tabela 15 - Dados de placa e medição de corrente dos motores da área de produção	91
Tabela 16 - Dados de ventiladores e medição de corrente dos exaustores e ventiladores	92
Tabela 17- Ciclos de cargas e descargas para medição de vazamento	94
Tabela 18 - Temperaturas registradas na inspeção termográfica.....	95
Tabela 18 - Temperaturas registradas na inspeção termográfica.....	96
Tabela 19 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição	96
Tabela 19 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição	97
Tabela 20 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição	97
Tabela 20 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição	98
Tabela 21 - Simulação de repotencialização dos motores dos compressores	100
Tabela 22 - Custo para repotencialização dos motores dos compressores.....	101
Tabela 23 - Quantidade e potência de motores da área de abate	104
Tabela 24 - Cenário para repotencialização de motores	104
Tabela 25 - Redimensionamento de motores da área de abate.....	105

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

Sigla	Definição
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEE	Ações de eficiência energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>International technical society organized to advance the arts and sciences of heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
CCM	Centro de controle de motores
CEE	Consumo específico de energia
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CIGE	Comissão interna de gestão de energia
CMA	Índice médio mensal por alunos
CMF	Índice de Consumo médio Mensal por Funcionário
CMM	Índice de Consumo médio mensal por m ²
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO2	Dióxido de carbono
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONPET	Programa Nacional de Racionalização de uso de derivados de Petróleo e Gás Natural
COP	Coefficiente de performance
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DMA	Índice de demanda máxima mensal por alunos
DMF	Índice de demanda máxima mensal por funcionários
DMM	Índice de Demanda Máxima Mensal por m ²
EASA	<i>Electrical Apparatus Service Association and motor repair</i>
EE	Eficiência energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCOs	Empresas de serviços de conservação de energia
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
FC	Fator de carregamento
FCa	Fator de carga
FP	Fator de Potência
ICMS	Imposto sobre operações de mercadorias e prestação de serviços
IDEs	Indicadores de desempenho energético

IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IP	Índice de proteção
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LBEE	Linha de base de energia elétrica
LBL	Linha de base de lenha
LBOD	Linha de base de óleo diesel
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MME	Ministério de Minas e Energia
MTA	Máxima temperatura admissível
OD	Óleo diesel
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PBE	Plano Brasileiro de Etiquetagem
PCR	Índice Percentual de Consumo no Período Reservado
PCT	Índice Percentual de Consumo Total
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PE	Perdas elétricas
PEE	Projetos de Eficiência Energética
PIB	Produto Interno Bruto
PIMPV	Protocolo Internacional de Medição, Verificação de Performance
PIS	Programa de Integração Social
PLC	<i>Programmable Logic Controlle</i>
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
Procel	Programa Nacional de Eficiência Energética
QD	Quadro de distribuição
QGBT	Quadro geral de baixa tensão
RCB	Relação custo benefício
RN	Resolução Normativa
ROI	Retorno de Investimento
SGE	Sistema de Gestão de Energia
tep	Tonelada equivalente de petróleo
THD	Taxa de distorção harmônica total
UC	Unidade consumidora

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Definição
$\sum t_{ci}$	Tempo em carga durante a medição
A_{est}	Área estimada
ρ_{ar}	Massa específica do ar
B	Benefício
CO_2	Dióxido de carbono
C_1	Amplitude do harmônico fundamental
C_g	Capacidade de geração dos compressores
C_m	Consumo mensal de energia dos compressores
C_m	Consumo mensal de energia dos motores e equipamentos de geração de frio
C_n	Amplitude dos harmônicos de ordem n
C_{par}	Calor específico do ar
$D_{mês}$	Número de dias por mês da utilização da câmara
ΔT	Diferença entre a temperatura recomendada e a temperatura medida
E_C	Energia de combustíveis
E_E	Energia Elétrica
E_i	Energia desperdiçada devido ao tipo inadequado de iluminação
E_{in}	Energia desperdiçada devido à inexistência de termostato e pressostato
E_{irr}	Energia desperdiçada devido à incidência direta de raios solares e isolamento deficiente
E_t	Energia desperdiçada devido ao nível inadequado de temperatura
E_V	Energia de vapor
h_{dia}	Horas de funcionamento da iluminação por dia
h_e	Entalpia na entrada do compressor
h_s	Entalpia do líquido saturado referente à pressão de saída do compressor
I	Corrente elétrica
I_0	Corrente elétrica a vazio
I_N	Corrente elétrica nominal
I_t	Corrente elétrica de trabalho
k	Fator k

K_i	Coefficiente de transferência de calor do material
L	Lenha
l_i	Espessura do isolante
m	Número de ciclos de carga/alívio na medição
M_N	Conjugado nominal
M_t	Conjugado de trabalho
N_{inc}	Número de lâmpadas
n_N	Rotação nominal
n_S	Rotação síncrona
n_t	Rotação de trabalho
P	Potência
P_I	Pressão no reservatório no final do teste
p_{atm}	Pressão atmosférica
P_N	Potência nominal
P_o	Pressão do reservatório no início do teste
P_t	Perda devido ao nível inadequado de temperatura
P_t	Potência de trabalho
Q/S	Perda de calor por unidade de área
Q_o	Capacidade de refrigeração dos compressores
Q_p	Calor de perda térmica
Q_{ved}	Calor perdido por má vedação
R	Resistência elétrica
t	Tempo
T_0	Temperatura de admissão anterior a AEE
T_f	Temperatura de admissão posterior a AEE
t_t	Tempo total de medição
V	Volume total do reservatório e tubulações
V_c	Vazão do compressor
V_f	Vazão do forçador
V_p	Vazão do ar comprimido perdida nos vazamentos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 UTILIZAÇÃO DE ENERGIA E PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	17
1.2 OBJETIVO	20
1.2.1 Objetivos gerais	20
1.2.2 Objetivos específicos	21
1.3 JUSTIFICATIVA	21
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	22
2 REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1 CONSUMO DE ENERGIA	24
2.2 PRINCIPAIS PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PAÍS	25
2.2.1 PROCEL	25
2.2.2 CONPET	26
2.2.3 PBE	27
2.2.4 Histórico de Leis, Decretos e Resoluções	28
2.3 ABNT NBR ISO 50001-PRINCIPAIS ITENS E INTERPRETAÇÃO	29
2.3.1 Escopo e principais itens	29
2.3.2 Revisão energética	30
2.3.3 Linhas de base energética.....	33
2.3.4 Indicadores de desempenho energético.....	34
2.4 MÓDULOS TEMÁTICOS	40
2.4.1 Análise tarifária	41
2.4.1.1 Análise tarifária visando conservação de energia.....	42
2.4.2 Sistemas de refrigeração	42
2.4.2.1 Abordagem qualitativa	43
2.4.2.2 Abordagem quantitativa	45
2.4.3 Sistemas de iluminação	49
2.4.4 Sistemas de ar comprimido	51
2.4.4.1 Conservação na geração de ar comprimido	51
2.4.4.2 Medição de vazamento.....	54

2.4.5	Acionamentos	56
2.4.5.1	Recomendações	56
2.4.5.2	Teste de carregamento	58
2.4.6	Bombas de fluxo e ventiladores.....	60
2.4.7	Quadros de distribuição de circuitos.....	62
2.4.8	Transformadores	64
2.4.8.1	Aspecto tecnológico.....	64
2.4.8.2	Aspectos de utilização e dimensionamento.....	66
2.4.9	Qualidade de energia.....	67
3	MATERIAS E MÉTODOS	70
3.1	SISTEMAS COM USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA	73
3.2	LINHAS DE BASE ENERGÉTICA	74
3.3	MÓDULOS TEMÁTICOS	76
3.3.1	Análise Tarifária.....	76
3.3.2	Acionamentos	76
3.3.3	Sistema de refrigeração	77
3.3.4	Sistema de ar comprimido.....	78
3.3.5	Quadros de distribuição de circuitos.....	78
3.3.6	Sistemas de iluminação.....	78
3.3.7	Qualidade de energia e transformadores	79
3.4	ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE REDUÇÃO DE PERDAS	79
4	RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO.....	83
4.1	SISTEMAS COM USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA	83
4.2	LINHAS DE BASE ENERGÉTICA	84
4.3	MÓDULOS TEMÁTICOS	87
4.3.1	Análise tarifária	87
4.3.2	Acionamentos, bombas de fluxo e ventiladores	89
4.3.3	Sistemas de refrigeração	92
4.3.4	Sistema de ar comprimido.....	93
4.3.5	Quadros de distribuição de circuitos.....	95
4.3.6	Qualidade de energia e transformadores	96
4.3.7	Sistemas de iluminação.....	98

4.4 ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE REDUÇÃO DE PERDAS	99
4.4.1 Sistemas de refrigeração	100
4.4.2 Análise tarifária	102
4.4.3 Sistema de ar comprimido.....	102
4.4.3.1 Vazão perdida.....	102
4.4.3.2 Diferença de temperatura na admissão	103
4.4.3.3 Ações.....	103
4.4.4 Acionamentos	103
4.4.5 Total de perdas.....	105
4.5 OPORTUNIDADES DE MELHORIA.....	107
4.6 DISCUSSÃO	110
5 CONCLUSÃO.....	113
6 REFERÊNCIAS.....	115
ANEXO A - Níveis de iluminação área administrativa 01	119
ANEXO B - Níveis de iluminação área administrativa 02	120
ANEXO C - Níveis de iluminação da área do frigorífico	121
ANEXO D - Principais indicadores de eficiência energética abordados.....	125
APÊNDICES	126
APÊNDICE- A - Publicações resultantes deste trabalho	126

1 INTRODUÇÃO

1.1 UTILIZAÇÃO DE ENERGIA E PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Independentemente da forma de energia, o homem a utilizou desde o princípio dos tempos para sua sobrevivência e bem-estar. Uma grande diferença na utilização de energia entre o homem primitivo e o tecnológico deve-se à quantidade utilizada por cada um. Segundo Goldemberg e Lucon (2007), há um milhão de anos, o homem primitivo utilizava cerca de 2000 quilocalorias (kcal) por dia para sobreviver. Ele obtinha essa energia por meio do alimento. A utilização de energia sempre acompanhou o desenvolvimento da sociedade. Com o passar do tempo, o homem foi dominando outras formas de energia, como o fogo, com isso a lenha passou a ser a principal fonte energética, e sua finalidade era quase que exclusivamente para se aquecer e cozer os alimentos.

Com o domínio da eletricidade, o uso de combustíveis fósseis e o surgimento dos diversos meios de transporte, o homem tecnológico consome uma quantidade de energia muito além daquela consumida pelo homem primitivo. Além de consumir mais alimento, ele utiliza de energia em moradia, indústria, agricultura e transporte. Segundo Goldenberg e Lucon (2007), no ano de 2003, cada um dos seis bilhões de habitantes do planeta consumiu em média cerca de um milhão de vezes o que consumia o homem primitivo. Isso mostra claramente uma curva crescente de consumo energético ao longo dos séculos.

Atualmente, um forte indicador da variação de consumo de energia tem relação com o valor do PIB (Produto Interno Bruto). Tal índice define os bens e serviços finais em uma dada região, durante um determinado período e a variação do consumo de energia é proporcional ao valor do PIB. Lise e Monfort (2005) realizaram um estudo com a finalidade de verificar a cointegração da energia consumida e o PIB, na Turquia, entre os anos de 1970 a 2003. No estudo concluíram que há cointegração entre PIB e energia. Outros autores vêm explorando esses estudos, relacionando-os com outros fatores econômicos.

Não diferente de outros países, no Brasil, o consumo de energia é diretamente relacionado com o PIB. Na Figura 1 pode ser visto o valor de consumo final de energia e PIB no Brasil entre os anos de 2003 e 2012.

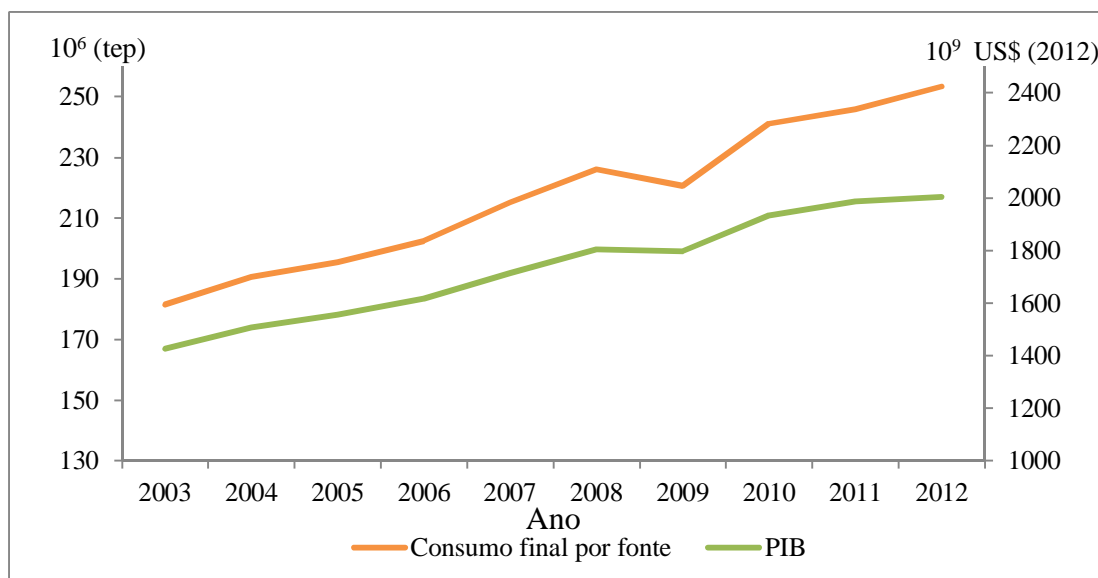


Figura 1 - Consumo final de energia e PIB no Brasil entre 2003 e 2012
Fonte: BEN (2013)

Nota-se na figura 1 que, com exceção dos períodos entre 2008 e 2009, houve uma taxa crescente do PIB.

Tomando como base a curva crescente de consumo energético e do PIB, fica evidente a necessidade de uma maior demanda de energia com o crescimento econômico do país.

Outro fator importante sobre uso e necessidade de uma maior demanda de energia se refere ao uso de energias fósseis, desmatamento e emissão de gases de efeito estufa. O consumo excessivo de fontes não renováveis reflete a necessidade de ampliar a utilização de outras fontes energéticas e aplicar modelos de conservação de energia e eficiência energética. Linares e Labandeira (2010) advertem que programas de conservação de energia permitem adiar o esgotamento de recursos fósseis, sendo uma das melhores alternativas para reduzir a emissão de dióxido de carbono.

Na figura 2, observa-se o consumo de energia por fonte entre os anos de 1970 e 2012, no Brasil. Nota-se que os derivados de petróleo são os combustíveis mais utilizados. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, divulgados através do BEN (2013) no ano de 2012, 44,6% do combustível utilizado no país é proveniente dos derivados de petróleo. Em 2001, de um total de 10,2 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) de energia consumida pela população mundial, quase 80% vieram de combustíveis fósseis (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

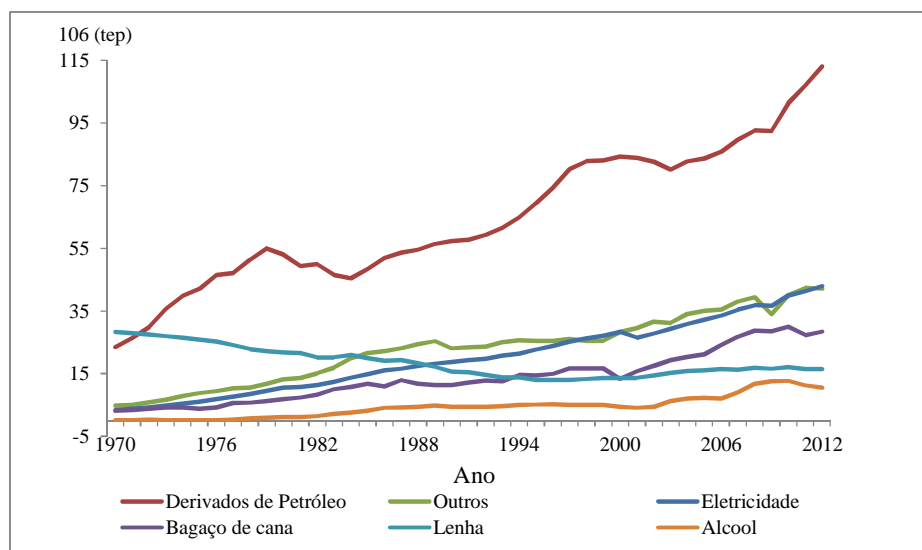


Figura 2 - Consumo final de energia por fonte entre 1970 e 2012 no Brasil
Fonte: BEN (2012)

A energia transformou-se em fator decisivo no crescimento econômico de um país. Sabe-se, como já foi mencionado, que seu consumo está relacionando ao PIB. No entanto, para suprir a demanda requerida em vista do crescimento econômico, a oferta de energia precisa ser igual ou superior à demanda. Um mau exemplo do que ocorre pela falta de planejamento de oferta *versus* demanda onde se tem um *déficit*, foi o “apagão” ocorrido em 2001. Segundo Gomes (2007), esse apagão deveu-se principalmente por falta de chuvas nas cabeceiras dos rios em Minas Gerais. O apagão custou muito dinheiro ao Tesouro Nacional e ao bolso dos contribuintes.

Desde a década de 1970, muitas ações foram promovidas com a finalidade de se incentivar a aplicação de programas de eficiência energética. O Ministério de Minas e Energia publicou no dia 19 de outubro de 2011, a portaria n.º 594, que aprovava o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf - Premissas e Diretrizes Básicas). Tal plano teria como objetivos criar ações de conservação de energia e diminuir o uso de energias primárias, com conseqüente redução de impacto ambiental. Segundo o PNEf, há projeções para 2030 de que haja uma redução de demanda através de progressos autônomos e induzidos de 5% cada. Progresso autônomo é aquele que se dá por iniciativa do mercado e progresso induzido é aquele que requer estímulos através de políticas públicas. Espera-se que, levando em consideração um cenário com taxa anual média de crescimento do PIB, no período

2005/2030, de 4,1% (PNE-2030) haja uma economia acumulada de 106223 GWh de energia elétrica para o ano de 2030.

Aliada a tudo isso, no mês de junho de 2011, foi lançada no Brasil a norma ABNT NBR ISO-50001- Sistemas de gestão de energia - Requisitos com orientações para uso; seu principal objetivo é propiciar às instituições um meio de estabelecerem um sistema para melhorarem seu desempenho energético, incluindo eficiência energética; uso e consumo, além de prever uma significativa redução de emissão de gases de efeito estufa.

Pelo que foi exposto até o momento nota-se a necessidade de maior demanda de energia, fontes de energias mais limpas, além de previsão de investimentos em eficiência energética. Dessa forma, este trabalho de dissertação visa responder às questões que seguem.

- Há no cenário atual uma carência de ações em eficiência energética?
- As indústrias são os órgãos que mais consomem energia, e muitas delas não possuem sistema ou controle de consumo energético. Por quê?
- Caso aprovada sua viabilidade, o desenvolvimento de um sistema de gestão de energia, seria implantado pelas indústrias?
- Se aceitassem implantar, que modelos seriam utilizados como referência?
- A ABNT NBR ISO 50001 poderia ser utilizada como referência. Mas quem poderia interpretá-la para implantar? E como?

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivos gerais

O objetivo principal deste trabalho é efetuar uma investigação acerca da eficiência energética na indústria; se estas possuem ou não algum controle de consumo de energia e se os seus equipamentos encontram-se com bons indicadores de eficiência energética. Com essa investigação, objetiva-se verificar as possíveis barreiras para se implantar um sistema de gestão de energia em uma planta. Como resposta à investigação, foi realizado um estudo de caso em um frigorífico de abate de aves.

1.2.2 Objetivos específicos

- Pesquisar sobre tecnologias e procedimentos implantados em sistemas de gestão de energia como indicadores de desempenho energético, medição e verificação de economia e elaboração de linhas de base para cada fronteira ou sistema energético (módulo temático).
- Efetuar uma auditoria energética em uma planta industrial objetivando a identificação das barreiras e motivações para se implantar um sistema de gestão de energia.

1.3 JUSTIFICATIVA

Conforme visto na seção 1.1, a demanda de energia é uma curva crescente e em constante ascensão. De um lado, os países necessitam crescer economicamente, aumentar as exportações e incrementar seus PIBs. Dessa necessidade faz-se necessária a demanda de uma maior produção energética. Por outro lado, a sociedade com um maior poder aquisitivo, consome mais bens, adquire mais equipamentos e se locomove a maiores distâncias. Como há uma solicitação maior de energia, há duas alternativas a se seguir. A primeira reflete no investimento do sistema elétrico: geração, subestações e linhas de transmissão. Independente do tipo de energia utilizada, todas impactam negativamente sobre o ambiente. Usinas hidráulicas, apesar de utilizarem fontes renováveis, alagam grandes áreas e ecossistemas são destruídos. Termoelétricas movidas a combustíveis fósseis lançam quantidades significativas de CO₂ para a atmosfera. Usinas nucleares são suscetíveis a acidentes praticamente incontroláveis. Outra alternativa para suprir a demanda solicitada é encontrada nos programas de conservação de energia e gestão e eficiência energética. Tais programas contribuem para a diminuição da necessidade de expansão do setor energético, redução de custos em energia, em instituições e, principalmente, minimizam os impactos ambientais causados pelos gases de efeito estufa lançados à atmosfera. Interessante também é o fato de que o custo de conservar 1kWh de energia é geralmente mais barato do que produzir a mesma quantidade de energia (JANNUZZI, 1997).

A maior motivação para elaboração deste trabalho se refere ao lançamento do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) e da norma ISO 50001. O PNEf prevê uma

economia de energia considerável para os próximos anos. Como proposta, ele recomenda a norma ISO 50001 como umas das principais ferramentas para alcançar tais objetivos. Prevê-se que inclusive deverá ser utilizada como base de concepção e estruturação de projetos de eficiência energética.

Levando-se em consideração o que foi mencionado até o momento, deve-se destacar que há necessidade de maior demanda de energia e diminuição de impactos ambientais, tornando evidente que programas de conservação de energia são possivelmente eficientes para suprir tais necessidades. E também fica uma questão importante a ser analisada que é se os progressos autônomos serão suficientes para alcançar os objetivos esperados pelo PNEf ou se será necessária uma intervenção de programas induzidos para incentivar empresas a adotarem programas de conservação de energia.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Os capítulos que compõem esta dissertação trazem uma revisão sobre gestão e eficiência energética, interpretação dos principais itens do escopo da ABNT NBR ISO 50001 e um estudo de caso no qual se fez uma auditoria energética em um frigorífico de abate de aves.

No capítulo 2 foi realizada uma revisão geral sobre eficiência e gestão energética. De início são comentados os principais programas de eficiência energética. Depois disso, foram explorados os principais itens da ABNT NBR ISO 50001. Ainda no mesmo capítulo, foi efetuada uma apreciação sobre eficiência energética em termos de módulos temáticos. Esses módulos trazem as diferentes categorias energéticas, como acionamentos, sistemas de iluminação, entre outros, e suas principais características, tendo em vista a conservação de energia.

No capítulo 3 foram apresentados os materiais e métodos utilizados na auditoria energética. Inicialmente, buscou-se parceria com uma indústria com atividade presente na região, para realizar o estudo de caso. Após firmada a parceria, foram feitas algumas visitas ao local para que fossem definidos quais módulos temáticos estavam presentes. Depois disso, a empresa foi delimitada em cinco fronteiras para possibilitar as medições para que se verificassem quais os centros com maior consumo de energia e indicadores de eficiência de módulos temáticos. Com essa delimitação de fronteiras estabeleceram-se quais as variáveis

que deveriam ser monitoradas e qual equipamento de medição seria adequado para cada caso. Após a especificação dos equipamentos, foi definida a metodologia de cálculo, através dos dados a serem coletados e da revisão de literatura para cada módulo temático, assim como linhas de base energética, com o intuito de caracterizar o consumo de energia da planta e indicadores de eficiência energética.

O capítulo 4 trata dos resultados do estudo de caso. Esse estudo foi realizado em um frigorífico de abate de aves situado na região Sudoeste do Paraná. Ele teve como foco uma auditoria energética onde a premissa foi identificar as barreiras de implantar um sistema de gestão de energia, além de estabelecer os centros de maior consumo e levantar indicadores de eficiência energética de alguns módulos temáticos e elaborar as linhas de base energética das principais fontes energéticas. Com os dados coletados foi possível estabelecer oportunidades de melhoria em termos de conservação de energia e um estudo de alternativas de redução de perdas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONSUMO DE ENERGIA

O tema conservação de energia e eficiência energética começou a ser discutido seriamente na década 1970, com a primeira crise do petróleo, quando a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) tomou o controle do sistema de preços (ALLSOPP, 2011). Segundo Melo (1981), com o aumento do preço do petróleo e com a existência do cartel formado pela OPEP, em 1983, houve mudanças significativas na economia mundial. Os países importadores, principalmente os subdesenvolvidos foram afetados significativamente por esse novo cenário. Os países de todo o mundo se depararam com a necessidade de mudar a maneira de utilização da energia que produziam. Dentre muitas ações, grande parte dos países desenvolvidos energo-dependentes incentivaram as empresas a tomarem medidas de efficientização de energia. As ações se deram principalmente na melhoria das instalações, equipamentos e auditorias energéticas (CAMACHO, 2009).

No Brasil, desde essa época, foram contempladas iniciativas com a finalidade de diminuição de riscos e dependências externas. Segundo Souza, Guerra e Kruger (2011), houve um aumento de exploração de petróleo e carvão, iniciação de programas nucleares para geração de energia elétrica, criação do programa Proálcool; e continuação intensiva na expansão das usinas hidrelétricas. Em se tratando de eficiência energética, o país conta com alguns órgãos, programas, leis e resoluções, que têm por finalidade divulgar e incentivar a implantação de programas de conservação e eficiência energética. Atualmente, as ações de gestão e de eficiência energética mais atuantes estão em programas governamentais e, em casos isolados, aplicados diretamente aos consumidores. Podem ser citados alguns programas como PROCEL, CONPET e PBE os quais serão vistos neste capítulo.

Em relação ao consumo de energia, em 2012 o Brasil consumiu em torno de 43 milhões de toe (tonelada equivalente de petróleo) (BEN, 2013). Entre todos os setores, o industrial é o que mais consome energia. Deste total, ele foi responsável por 35,1% do consumo. A energia elétrica corresponde a aproximadamente 43% da energia consumida no país e o setor industrial foi responsável por 43,1% do total consumido deste insumo no ano de

2012. O setor de alimentos e bebidas foi responsável por aproximadamente 13,5% do consumo nacional.

Tendo em vista um consumo cada vez mais elevado de energia é necessário um planejamento do setor energético. Tal planejamento de expansão precisa estar em concordância com a previsão de crescimento econômico do país. No Brasil, um dos principais órgãos ativos para o planejamento e expansão de energia é a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que tem por finalidade efetuar estudos e pesquisas relacionados ao planejamento energético. Os principais documentos lançados pela EPE são o Plano Nacional de Energia (PNE), Plano Decenal de Expansão de Energia e o Balanço Energético Nacional (BEN). No BEN são divulgados dados relacionados à oferta e demanda de energia, fontes, reservas de combustíveis e históricos. Esses dados são de vital importância para o planejamento energético. O objetivo principal do PNE é um planejamento energético em longo prazo. Nele constam estudos e alternativas no setor vislumbrando principalmente as fontes disponíveis.

2.2 PRINCIPAIS PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PAÍS

2.2.1 PROCEL

O Programa Nacional de Eficiência Energética (PROCEL) foi criado em dezembro de 1985, pelo Ministério de Minas e Energia e Indústria e Comércio, e gerido por uma secretaria executiva subordinada à Eletrobrás. Em 1991, o PROCEL foi transformado em programa do governo, tendo abrangência e responsabilidade ampliadas. O seu principal objetivo é disseminar programas de eficiência energética.

O PROCEL conta com recursos da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão-RGR, fundo federal, constituído com recursos das concessionárias. Utiliza também recursos de entidades nacionais e internacionais.

A atuação direta do PROCEL se dá através de vários subprogramas. Sendo estes a seguir descritos:

- Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética-Procel Info;
- Eficiência Energética em Edificações-Procel Edifica;
- Eficiência Energética em Equipamentos-Procel Selo;
- Eficiência Energética Industrial-Procel Indústria;

- Eficiência Energética no Saneamento Ambiental-Procel Sanear;
- Eficiência Energética nos Prédios Públicos-Procel EPP;
- Gestão Energética Municipal-Procel GEM;
- Informação e Cidadania-Procel Educação;
- Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica-Procel Reluz.

Segundo dados do relatório PROCEL (2012), no período de 1986 a 2011, o programa possibilitou uma economia de 53,23 bilhões de kWh. Na tabela 1 podem ser vistos os resultados PROCEL, entre os anos de 2007 e 2011, e na tabela 2, os investimentos e custeios do programa.

Uma comparação entre as tabelas 1 e 2 demonstra que, apesar de haver altos investimentos em programas de eficiência energética, o montante de investimento evitado é ainda maior, comprovando que economizar energia é mais vantajoso do que produzir.

Tabela 1 - Resultados anuais do Procel entre 2007 e 2011

	2007	2008	2009	2010	2011
Energia economizada (milhões de kWh)	3.930	4.374	5.473	6.164	6.696
Redução de Demanda na Ponta (MW)	1.357	1.569	2.098	2.425	2.619
Usina equivalente (MW)	942	1.049	799	1.478	1.606
Investimentos postergados (R\$ milhões)	542	639	1.312	696	756

Fonte: Resultados Procel (2012)

Tabela 2 - Investimentos e custeios dos programas Procel entre 2007 e 2011

	2007	2008	2009	2010	2011
Investimentos Eletrobrás (R\$ milhões)	13,62	5,49	9,02	14	8,52
Investimentos RGR (R\$ milhões)	39,16	25,8	55,95	45,32	68,46
Custeiio (Recursos Humanos e Infraestrutura) (R\$ milhões)	-	14,99	85,17	17	18,58
Totais de recursos aplicados (R\$ milhões)	52,78	46,28	20,2	76,32	95,56

Fonte: Resultados Procel (2012)

2.2.2 CONPET

O Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET) foi instituído por decreto presidencial, no ano de 1991, com a composição de órgãos estatais e privados. A área de atuação do CONPET abrange as instituições de

ensino e os setores de transporte, industrial (melhoria ambiental e competitividade produtiva), residencial e comercial (uso de selos de eficiência para produtos), agropecuário (uso de óleo diesel) e geração de energia (termelétricas). O objetivo principal do CONPET, quando criado, era a capacitação de pessoal, divulgação de informações e realização de diagnósticos em veículos de carga e de passageiros. Atualmente, tem como principais objetivos:

- fornecer apoio técnico para aumento da eficiência energética no uso final da energia;
- promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico;
- reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera;
- conscientizar os consumidores sobre a importância do uso racional da energia para o desenvolvimento sustentável e melhor qualidade de vida;
- racionalizar o consumo de derivados do petróleo e do gás natural.

2.2.3 PBE

O Programa Brasileiro de Etiquetagem foi oficialmente criado no ano de 1984. Nesta época, o Ministério da Indústria e Comércio e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) firmaram protocolo e com o apoio do Ministério de Minas e Energia criaram o PBE. O principal objetivo era prover os consumidores de informações acerca do consumo de energia dos equipamentos eletrodomésticos e selecionar assim os de menor consumo, viabilizando assim, uma redução de investimentos em novas unidades geradoras e, conseqüentemente, redução de consumo para a população em geral.

O programa teve um reforço por meio de uma lei e um decreto. A lei n.º 10.295/2001, também conhecida como a “Lei da Eficiência Energética”, que estabeleceu níveis máximos de consumo, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia comercializados no país. O decreto de n.º 4.059/2001 regulamentou a “Lei da Eficiência Energética” e criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), cuja principal função era elaborar um programa de metas com indicação da evolução de níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado. Através do decreto ficou assegurado que o INMETRO seria o órgão responsável pela regulamentação, condução e fiscalização dos Programas de Avaliação da Conformidade relacionados com eficiência energética (PBE).

2.2.4 Histórico de Leis, Decretos e Resoluções

Desde a implantação do Programa de Eficiência Energética, o governo brasileiro criou leis, normas e resoluções com a finalidade de garantir a continuidade de expansão dos programas. Souza, Guerra e Kruger (2011) destacam os principais marcos, relacionados a seguir.

- Lei n.º 9.478, 06/08/1997, instituiu o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), em seu artigo 1º inciso IV estabelece que um dos princípios e objetivos da Política Energética Nacional é “proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia”.
- Decreto n.º 2.335, 06/10/1997, dispõe como competência da ANEEL “incentivar o combate ao desperdício de energia no que diz respeito a todas as formas de produção, transmissão, distribuição, comercialização e uso da energia”.
- Resolução n.º 271,19/07/2000, através dela a ANEEL estabeleceu os critérios de aplicação de recursos em ações de combate ao desperdício de energia elétrica e pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico brasileiro.
- Lei n.º 9.991, 24/07/2000, dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.
- Lei n.º 10.295, 17/10/2001, trata do estabelecimento dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados.
- Lei n.º 10.847, 15/03/2004, autorizou a criação da Empresa de Pesquisa Energética.
- Lei n.º 12.212, 20/01/2010, alterou por meio do seu artigo 11º, o artigo 1º da lei n.º 9.991/2000, inciso V, que passou a vigorar com a redação “as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão aplicar no mínimo 60% (sessenta por cento) dos recursos dos seus programas de eficiência para unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social”.

Conforme já especificado, através da lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000, estabeleceu-se que concessionárias e permissionárias de energia apliquem um percentual do montante de sua receita em programas de eficiência energética. A resolução normativa n.º

300, de 12 de fevereiro de 2008, estabeleceu os critérios para aplicação dos recursos e aprovou o Manual para elaboração do PEE.

2.3 ABNT NBR ISO 50001-PRINCIPAIS ITENS E INTERPRETAÇÃO

Um sistema de gestão visa a criar procedimentos e padrões para que determinado processo ou produto seja feito de forma pautada por normas e esteja sob controle. Também vislumbra procedimentos para retirar não conformidades do processo para que o objeto de controle esteja dentro de padrões pré-estabelecidos. Atualmente, as normas de gestão mais difundidas são as dos padrões ISO. Entre as mais difundidas pode-se citar a ISO 9001, que trata de um sistema de gestão de qualidade e a ISO 14001, que trata de sistemas de gestão ambiental.

Muito se tem feito em relação à eficiência energética na indústria brasileira. No entanto, frequentemente esses programas não são conduzidos de uma forma sistemática que garanta um *feedback* de sua implantação. Um programa de gestão de energia visa extrair o máximo de informações sobre um sistema energético. De posse de tais informações verifica-se onde e como está sendo utilizada a energia, além de analisar se esta está dentro de padrões pré-estabelecidos. A norma ABNT NBR ISO 50001 foi elaborada justamente para que instituições de diversos portes e consumos energéticos possam promover a eficiência energética de forma objetiva e sistematizada. Sendo sua estrutura parecida com a de outras normas já citadas, como ISO 9001 e 14001.

2.3.1 Escopo e principais itens

O modelo de gestão segundo a ISO 50001 pode ser visto na figura 3. O modelo baseia-se na estrutura de melhoria contínua *Plan-Do-Check-Act (PDCA)*. Como observado, a norma é estruturada em uma política energética, um planejamento energético, implementação e operação, além de verificação e análise crítica pela direção. Através da verificação se obtém monitoração, medição e análises, não conformidades, correção, ação corretiva e preventiva e auditoria interna do SGE.

Não é objetivo de este trabalho explorar a norma, mas sim fazer uma interpretação dos principais itens de seu escopo. Itens esses que representam o fluxo de energia e massa de

uma planta e possibilitam o diagnóstico do estado da eficiência energética. Os três itens a serem analisados são: revisão energética, linhas de base energética e indicadores de desempenho energético (IDE's).

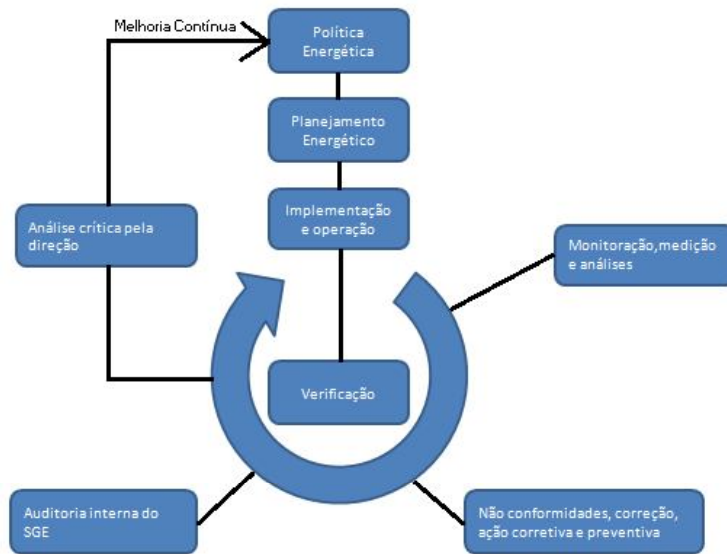


Figura 3 - Modelo de sistema de gestão de energia
Fonte: Adaptado da ABNT-NBR ISO 50001

2.3.2 Revisão energética

O item 3.5 da ISO 50001 trata a auditoria energética como revisão energética, que é a determinação do desempenho energético da organização com base em dados e em outras informações, conduzindo à identificação de possibilidades de melhorias. Santos *et al.* (2006) sugerem que a maior importância da auditoria está em estabelecer quem usa, quanto tem custado e como está sendo utilizada a energia. Segundo a mesma fonte, uma auditoria energética envolve conhecer todo o fluxo energético ao longo do processo produtivo, de bens e serviços. Avaliar tais fluxos exige um conhecimento multidisciplinar (LEITE, 2010), já que envolve diversos sistemas energéticos, como será visto nos módulos temáticos do item 2.3.

A figura 4 demonstra os requisitos básicos para a auditoria energética.

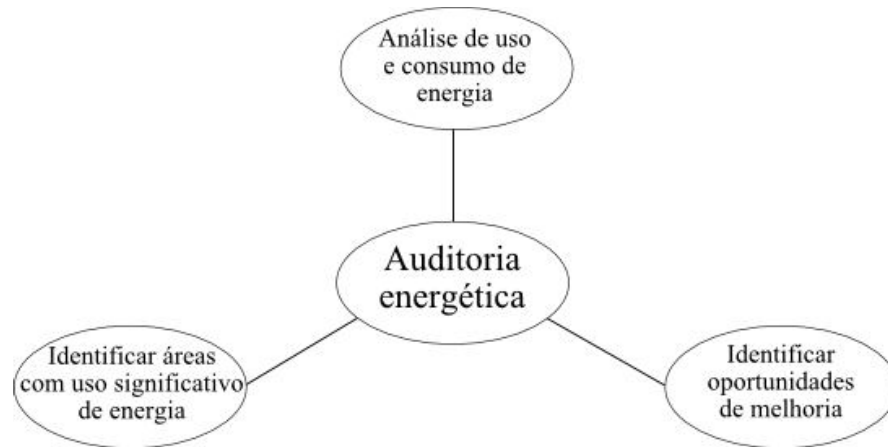


Figura 4 - Requisitos de uma auditoria energética

Conforme pode ser visto na figura 4, a análise do uso e consumo de energia envolve conhecer os tipos de insumos de energia que existem na planta, e estabelecer como se dá o fluxo. Identificar áreas com uso significativo de energia é de vital importância para priorizar ações, pelas quais se obterão maiores resultados. Em uma planta, há uma infinidade de sistemas energéticos, muitos não representam um consumo considerável de energia e, por vezes, é desnecessário demandar muito tempo para analisá-los. Por fim, identificar oportunidades de melhoria é essencial para estabelecer as novas metas de consumo energético. Como será visto adiante, essas metas compreendem as linhas de base energética.

Segundo Santos *et al.* (2006), o processo de auditoria energética poderá ocorrer conforme fluxograma da figura 5.

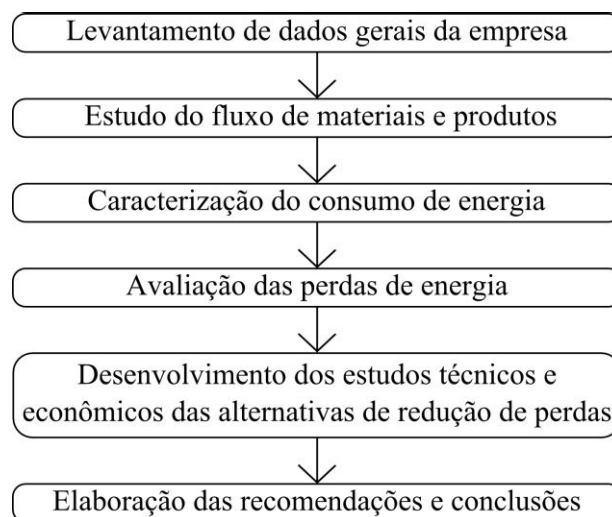


Figura 5 - Etapas de uma auditoria energética

Fonte: Adaptado Santos *et al.* (2006)

Importante notar na figura 5, que a auditoria energética envolve desde o conhecimento de dados gerais até a estruturação de alternativas para a conservação de energia.

Em acordo com as recomendações da ISO 50001, a auditoria pode ser realizada na seguinte sequência:

a) Delimitação de fronteiras e diagramas de fluxo.

Em todas as edificações, principalmente nas indústrias, há fluxos de energia de diferentes naturezas. Estas, por vezes possuem diferentes variáveis de controle e estão em diferentes setores da planta. Em um edifício comercial tem-se o abastecimento de água, energia elétrica, gás e combustível para grupo gerador. A energia elétrica por sua vez atende circuitos terminais, como sistemas de ventilação e exaustão, ar condicionado e equipamentos diversos. A delimitação de fronteira visa criar grupos distintos com a finalidade de controle e monitoração. Tanaka, Tuomaala e Ahtila (2010) alertam para a importância de haver fronteiras para definir a intensidade energética em relação à produção.

Estabelecer fronteiras possibilita enxergar a empresa como o conglomerado de centros de consumo e/ou fornecimento de energia que se comunicam através de um intercâmbio de energia.

Através da delimitação de fronteiras é possível controlar índices de eficiência energética. Em uma planta, poderá haver uma ou múltiplas fronteiras. No entanto, estas deverão ser monitoráveis através de medições.

b) Coleta de dados.

A coleta de dados fornecerá dados qualitativos e quantitativos com respeito ao estado dos sistemas energéticos da planta. Por meio disso será possível verificar índices de eficiência energética e propor ações de eficiência energética (AEE). O levantamento de dados deve ser efetuado através de medições, observações e análise de documentos, como faturas de energia, planilhas de produção e dados técnicos de equipamentos. Nota-se que cada fronteira estabelecida possui características distintas de consumo. Um edifício comercial, que possui três fronteiras sendo água, luz e gás, apresenta vários sistemas de consumo como motores, iluminação e condicionadores de ar. Coletar dados significa mensurar o estado da eficiência energética de cada sistema nas fronteiras.

Alguns requisitos necessários para coleta de dados, segundo Santos *et al.* (2006), são:

- consumos mensais de água, energia elétrica e combustíveis no período de um ano;

- plantas, desenhos e esquemas detalhados para cada unidade;
- balanços energéticos e de material atualizados para cada unidade;
- temperaturas e pressão nos pontos relevantes, valores medidos e de projeto;
- características elétricas dos equipamentos e valores medidos associados;
- considerações ambientais e de locação da empresa;
- perspectivas de alterações no processo.

Mais detalhes de requisitos devem ser verificados para cada módulo temático.

No item 2.3 será elaborada uma revisão com módulos temáticos visando a eficiência energética. Fica estabelecido que a coleta de dados deverá ser feita em observância a cada módulo temático definido para cada fronteira.

Para medição de variáveis, o ideal seria ter um sistema de supervisão com sensores em cada centro de consumo. No entanto, existe a possibilidade da inviabilidade econômica em instalar tantos sensores. Na auditoria energética poderão ser utilizados equipamentos manuais para efetuar tais medidas.

2.3.3 Linhas de base energética

Na auditoria energética é que se obtêm as linhas de base energética. Conforme a ISO 50001, elas podem ser definidas como referências quantitativas, fornecendo uma base de desempenho energético na qual:

- uma linha de base energética reflete um período de tempo especificado;
- uma linha de base energética pode ser normalizada usando variáveis que afetam o uso e/ou consumo de energia, como nível de produção, graus-dia (temperatura exterior), etc.;
- a linha de base energética é também utilizada para cálculo da economia de energia, como uma referência antes e depois da implementação de ações de melhoria de desempenho energético.

As linhas de base energética são os parâmetros de calibragem de um sistema de gestão de energia. São elas que definem se o sistema está ou não sob controle. Em modo geral as linhas de base são definidas para cada processo e indicam as variáveis de interesse. Em uma linha de produção, por exemplo, poderá ser consumo de energia/toneladas de produtos

produzidos, ou para uma caldeira poderia ser metros cúbicos de lenha/quantidade de vapor produzido.

Segundo Leite (2010), a grande relevância no correto dimensionamento das linhas de base é conseguir mensurar a economia gerada a partir de investimentos em Eficiência Energética (EE). Muitas empresas de serviços de conservação de energia (ESCO's) investem em programas de conservação de energia. Muitos contratos são feitos de forma que o retorno do investimento venha através da economia gerada. Daí outra importância no correto dimensionamento das linhas de base.

O objetivo do SGE, além de estabelecer um mapa do fluxo de energia, é possibilitar a economia de energia através de implantação de ações em eficiência energética (AEE). Em muitos casos deseja-se conhecer os parâmetros de EE para toda a instalação, em outros casos apenas num processo específico (LEITE, 2010). Para esses diferentes casos há formas distintas de estabelecer a linha de base energética.

Há vários métodos para estabelecer uma linha de base energética, como regressão estatística, simulações, entre outros, sendo a regressão estatística a mais utilizada (LEI e HU-2009). Um cuidado que se deve ter na elaboração é em relação aos fatores externos, como umidade e temperatura externas, pois estas influenciam no consumo de energia, principalmente em edificações que fazem uso de condicionadores de ar. Se fatores externos influenciam no consumo de energia, a linha de base deve ser ajustada de forma a compensar tal desequilíbrio. Conforme Miyata *et al.* (2006), a economia de energia pode ser determinada pela diferença entre o consumo de energia após a implantação de AEE, e a energia consumida antes de programas de AEE. A linha de base antes do *retrofit* é também chamada de linha de base de energia pré-ajustada.

2.3.4 Indicadores de desempenho energético

Segundo o item 3.13 da ISO 50001, indicador é o valor ou medida quantitativa de desempenho energético, conforme definido pela organização. A organização deve identificar os IDE's apropriados para monitoramento e medição de seu desempenho energético. A metodologia para determinar e atualizar os IDE's deve ser registrada e regularmente revisada (item 4.4.5 ABNT NBR ISO 50001). A norma não dita a metodologia para determinação dos

IDE's, no entanto esses indicadores devem ser mantidos e atualizados, além de serem comparados à linha de base.

Os indicadores de desempenho energético visam demonstrar o estado de eficiência energética dos diferentes sistemas para um SGE. Eles servem para verificar as possíveis mudanças de eficiência energética (PATTERSON, 1996). Entende-se eficiência energética como o processo que visa produzir a mesma quantidade de produto com menos energia. Para um processo industrial um indicador muito simples e utilizado pode ser verificado na equação 1 (PATTERSON, 1996).

$$\text{Índice de EE} = \frac{\text{Saída útil de um processo}}{\text{Entrada de energia para o processo}} \quad (1)$$

As duas principais normas para sistemas de medição e verificação são PIMPV da EVO e ASHRAE 14. Essas, no entanto são omissas em relação a indicadores de eficiência energética e deixam sob responsabilidade do engenheiro de eficiência energética a determinação dos indicadores (LEITE, 2010).

Patterson (1996) define quatro grupos de indicadores, servindo principalmente para medir as mudanças de eficiência energética em um processo qualquer. Abaixo os quatro grupos de indicadores.

- Termodinâmicos

São indicadores relacionados inteiramente a processos termodinâmicos. Alguns podem ser simples e outros apresentam estruturas mais complexas que se relacionam com o uso real de energia com o processo ideal.

- Físico-termodinâmicos

São indicadores híbridos, nos quais a entrada se dá através de variáveis termodinâmicas e a saída poderá ser constituída por outra unidade física, como por exemplo, tonelada de produtos.

- Econômico-termodinâmicos

São indicadores nos quais a entrada se dá por unidades termodinâmicas, e a saída tem relação com preço de mercado.

- Econômicos

São indicadores que medem mudanças de eficiência em termos de valores de mercado. A entrada e a saída de energia são relacionadas a unidades monetárias.

Na indústria, o indicador mais utilizado é o físico-termodinâmico. Alguns autores utilizam esse indicador como consumo específico de energia (DOMANSKI, 2011). Pois, reflete diretamente o consumo de energia por produto produzido, conforme equação 2.

$$CEE = \frac{\text{Consumo de Energia}}{\text{Produto Produzidos}} \quad (2)$$

Em uma indústria, um processo pode utilizar diferentes energias de entrada, como combustíveis, vapor e energia elétrica (SIITONEN, 2009), então o CEE pode ser calculado da seguinte forma:

$$CEE = \frac{E_C + E_V + E_E}{\text{Produtos Produzidos}} \quad (3)$$

Onde:

E_C =energia de combustíveis;

E_V =energia de vapor; e

E_E =energia elétrica.

Segundo Ferreira (1994), os indicadores energéticos podem ser divididos em: macroindicadores, quando destinados a medir a eficiência de uma região ou país; microindicadores, destinados a medir a eficiência de uma empresa, edifício ou habitação. Os macro e microindicadores, segundo o mesmo autor, podem ser ainda identificados em função de seus objetivos:

- indicadores descritivos: caracterizam a eficiência energética, sem justificção de alterações e desvios; e
- indicadores explicativos: explicam as razões das possíveis variações de EE. Caracterizam alterações tecnológicas, estruturais e de comportamento.

Os indicadores descritivos e explicativos podem ainda ser estabelecidos em dois critérios:

- critério econômico: utilizado quando a eficiência energética não pode ser representada por variáveis físicas ou técnicas. É também designado por indicadores de intensidade energética; e
- critério técnico-econômico: usado quando a eficiência energética pode ser representada por variáveis físicas e/ou técnicas. Exemplo: consumo de energia, distância, toneladas de aço, etc.

Segundo Saidel, Favato e Morales (2005), no Brasil, os indicadores energéticos como ferramenta para gestão energética são pouco explorados. Devido a tal fato, os autores propõem alguns indicadores energéticos do tipo explicativo de critério técnico-econômico aplicados em uma instituição de ensino. Estes são representados por:

- PCR (Índice percentual de consumo no período reservado).

$$PCR = \frac{\text{Energia no período reservado}(kWh)}{\text{Energia total da instalação}(kWh)} \quad (4)$$

O PCR objetiva caracterizar o impacto de consumo em horário reservado, em relação ao consumo total de uma Unidade Consumidora (UC). Pode verificar a quantidade de energia que pode estar sendo despendida no horário noturno comparado com UC's de segmento semelhante.

- PCT (Índice percentual de consumo total).

O PCT objetiva verificar quanto cada centro de consumo impacta sobre o consumo total da instalação. Exemplo: Sistema de ar condicionado, refrigeração, iluminação, força motriz, etc.

- CMM (Índice de consumo médio mensal por m²).

O CMM objetiva verificar o consumo por área construída, comparar com indicadores de instituições semelhantes, e verificar o índice ótimo para futuras construções.

$$CMM = \frac{\text{Energia média mensal}(kWh)}{\text{Área construída}(m^2)} \quad (5)$$

- CMF (Índice de consumo médio mensal por funcionário).

O CMF objetiva caracterizar o perfil de consumo por número de colaboradores.

$$CMF = \frac{\text{Energia média mensal}(kWh)}{\text{Número de funcionários}} \quad (6)$$

- CMA (Índice médio mensal por alunos).

Da mesma forma que o CMF, o CMA objetiva criar um perfil de consumo em relação a alunos.

$$CMA = \frac{\text{Energia média mensal}(kWh)}{\text{Número de alunos}} \quad (7)$$

- DMM (Índice de demanda máxima mensal por m²).

O DMM objetiva comparar a demanda entre unidades, e criar o valor ideal por m², auxiliando em futuros projetos, inclusive para dimensionamento de equipamentos de potência, como transformadores.

$$DMM = \frac{\text{Demanda Máxima Mensal}(kW)}{\text{Área construída}(m^2)} \quad (8)$$

- DMF (Índice de demanda máxima mensal por funcionários).

O DMF objetiva caracterizar relações entre unidades e perfil de carregamento de circuitos.

$$DMF = \frac{\text{Demanda Máxima Mensal}(kW)}{\text{Número de funcionários}} \quad (9)$$

- DMA (Índice de demanda máxima mensal por alunos).

Igualmente ao DMF, o DMA objetiva caracterizar relações entre unidades e perfil de carregamento de circuitos.

$$DMA = \frac{\text{Demanda Máxima Mensal}(kW)}{\text{Número de alunos}} \quad (10)$$

Nota-se que tais indicadores foram elaborados para uma instituição de ensino, no entanto, podem ser utilizados em uma indústria, principalmente o PCR e o PCT.

Outros indicadores podem ser utilizados em programas de eficiência energética, e caracterizam os custos e qualidade de energia, tais como, fator de carga, fator de potência, taxa de distorção harmônica e perdas em cabos e equipamentos.

- FP (Fator de Potência).

O fator de potência pode ser definido pela porcentagem de potência realmente utilizada (kW) da potência fornecida (KVA) (KRAUSE, 2002). Baixo fator de potência indica um sistema com pouca eficiência. O fator de potência ideal é 1,0. Segundo art. 95 da Resolução Normativa n.º 414, de 9 de setembro de 2010 (ANEEL), o fator de potência indutivo ou capacitivo tem como limite mínimo permitido para unidades consumidoras (UC's) no valor de 0,92; isso para UC de grupo A de tarifação. Segundo a RN n.º 414; grupo A é: “agrupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária”.

$$FP = \frac{\text{Potência Ativa em kW}}{\text{Potência reativa em KVA}} \quad (11)$$

- THD (Taxa de distorção harmônica total).

Quando uma onda não for uma senoidal pura, ela pode ser decomposta em várias senoides (Harmônicas). A primeira é chamada de fundamental, e as demais possuem múltiplos subsequentes do harmônico principal (KRAUSE, 2002). Segundo o mesmo autor, os principais problemas vindos de harmônicos são:

- perdas adicionais e aquecimento em máquinas elétricas e capacitores;
- interferência nos sistemas de telefonia;
- aumento da corrente de neutro;
- aumento das perdas em condutores;
- erros em instrumentos convencionais, por efeitos harmônicos;
- redução da vida útil de lâmpadas incandescentes;
- necessidade sobre dimensionamento de transformadores;
- a operação inadequada dos sistemas de controle;
- ruídos adicionais em motores e outros dispositivos; e
- sobretensões causadas pelas ressonâncias na rede.

Ter um baixo THD na instalação significa diminuir os problemas descritos.

- FCa (Fator de carga).

Esse fator é dado pela relação entre a demanda média e a demanda máxima registrada. Um baixo fator de carga pode indicar que em períodos breves há uma grande solicitação de carga. Por vezes é contratada uma alta demanda para esses intervalos. Aumentar um fator de carga indica uma diminuição de demanda necessária para suprir o sistema elétrico.

- PE (Perdas Elétricas).

Todo sistema elétrico sofre perdas de energia de alguma forma. Na indústria, as principais perdas de energia, entre o ponto de entrega até painéis terminais, são as de efeito Joule em transformadores, barramentos, cabos, chaves e conectores. Diminuir perdas é sinônimo de dimensionar corretamente cabos, barramentos e equipamentos. Uma forma de se verificar as perdas é medir a tensão de entrada do sistema e a tensão terminal de quadros. Quanto menor a diferença de tensão, menores serão as perdas.

O item 2.3 traz uma revisão sobre os módulos temáticos. Para cada módulo existem indicadores para representar eficiência energética.

2.4 MÓDULOS TEMÁTICOS

Medeiros (2010) faz uma análise de diferentes métodos de auditoria energética. Dessa análise ele extrai onze módulos temáticos para eficiência energética. Esses módulos podem ser verificados no Quadro 1.

Algumas modificações podem ser feitas no Quadro 1. Muitas ações de eficiência energética em motores são sinônimas de substituir o tipo de acionamento. Dessa forma, o módulo temático 6 fica bem definido por acionamentos (Santos *et al.* 2006) em vez de somente motores. Outro módulo temático importante consiste na questão de condicionamento ambiental. Esse fator é melhor explorado em edifícios comerciais, onde o consumo em climatização é elevado. O módulo 7 pode ser modificado para bombas de fluxos e ventiladores (Santos *et al.* 2006). No módulo 11 podem ser acrescentadas caldeiras. O módulo 4 será excluído devido às perdas em tubulações já fazerem parte da ação de eficiência de um sistema isolado, como, por exemplo, os sistemas de ar comprimido. Os módulos temáticos com algumas alterações podem ser vistos no Quadro 2.

Módulo	DESCRIÇÃO
1	Análise de Conta de Energia+Análise de comportamento de cargas+Correção de fator de potência
2	Ar Condicionado+Refrigeração
3	Iluminação
4	Perdas de vapor em tubulações e válvulas+ caldeiras.
5	Ar comprimido
6	Motores elétricos
7	Bombas
8	Quadros de Distribuição de circuitos
9	Transformadores
10	Qualidade de Energia
11	Fornos e Estufas

Quadro 1- Módulos temáticos
Fonte: Medeiros (2010)

n.º	DESCRIÇÃO
1	Análise tarifária
2	Sistemas de refrigeração
3	Sistemas de iluminação
4	Sistemas de ar comprimido
5	Acionamentos
6	Bombas de fluxo e ventiladores
7	Quadros de Distribuição de circuitos
8	Transformadores
9	Qualidade de Energia
10	Caldeira, fornos e estufas
11	Conforto Ambiental

Quadro 2- Módulos temáticos modificados

2.4.1 Análise tarifária

O valor gasto com energia elétrica nas indústrias, principalmente energo-intensivas, representa um percentual considerável dos gastos totais. Compreender como é tarifada a conta de energia é vital para efetuar um contrato favorável, evitando multas por ultrapassagem de demanda ou má qualidade de energia. Também se faz necessário cobrar da concessionária uma tensão adequada conforme recomendam as normas pertinentes.

O sistema tarifário de energia é regulamentado pela Resolução Normativa ANEEL n.º 414, de 9 de setembro de 2010. Nela são definidas as diferentes classes de consumidores, além de se estabelecerem as condições gerais de fornecimento de energia.

2.4.1.1 Análise tarifária visando conservação de energia.

Há algumas medidas a serem tomadas em termos de tarifação de energia, visando conservação de energia e diminuição de gastos. Segundo Santos *et al.* (2006), são três as principais medidas:

a) Otimização da Demanda de Potência.

A premissa básica é que seja contratada a demanda adequada para a empresa. A demanda faturada pela concessionária é a maior registrada ou a contratada. Se a registrada for menor do que a contratada, esta última será faturada, caso contrário será a registrada acrescida de multas. Além da demanda, outro quesito importante trata-se de alocar as cargas a fim de que o fator de carga fique o mais próximo da unidade. Para controlar a demanda poderão ser utilizados controladores de demanda que tiram cargas com ordem de prioridade, caso haja ultrapassagem.

b) Análise de opção tarifária.

Há várias opções para enquadramento tarifário. A melhor opção vai depender do perfil de carga do cliente. A demanda e consumo em horário de ponta e fora de ponta são os fatores que mais impactam na escolha. Os valores cobrados para consumo e demanda são diferentes para os enquadramentos. Conhecendo-se o perfil de carga do cliente é possível simular a opção mais adequada.

c) Correção de fator de potência.

A regra é manter o fator de potência dentro dos limites estabelecidos. Há três formas de regular o fator de potência em uma instalação: instalação de banco de capacitores, utilização de motores síncronos e aumento de consumo de energia ativa. O mais usual é a utilização de banco de capacitores. É imprescindível que se faça a leitura de fator de potência, e se realize as correções necessárias para evitar multas por consumo de energia reativa.

2.4.2 Sistemas de refrigeração

O consumo de energia nos sistemas de refrigeração é elevado. A refrigeração destina-se ao condicionamento ambiental, comercial, residencial ou industrial. Para refrigeração residencial costuma-se utilizar condicionadores locais, tipo janela ou, atualmente

mais difundidos, os modelos *split*. Em grandes edificações, principalmente comerciais e industriais, utiliza-se condicionamento centralizado.

Há três aspectos que definem a conservação de energia em sistemas de refrigeração. São eles: o tecnológico, o projeto e a utilização. Neste capítulo serão vistos o aspecto tecnológico e de utilização.

São possíveis duas abordagens a serem efetuadas para que se previna o desperdício de energia e que se mantenham os equipamentos em bom funcionamento. São as abordagens qualitativa e quantitativa. A abordagem qualitativa traz recomendações para economizar energia, no entanto, muitas vezes não é possível estimar o custo e também o montante economizado. A quantitativa permite estimar o quanto de energia se está desperdiçando, possibilitando que se vislumbrem novas tecnologias. A seguir será abordada cada uma dessas abordagens.

2.4.2.1 Abordagem qualitativa

Segundo Santos *et al.* (2006) e Venturini (2005), os principais itens que definem a conservação de energia em termos qualitativos na refrigeração são:

- Nível inadequado de temperatura.

As câmaras frigoríficas e ambientes são especificados para estarem a determinadas temperaturas. Para que se atinjam temperaturas abaixo das determinadas há um consumo desnecessário de energia.

- Inexistência de controle automático (termostato ou pressostato).

Os equipamentos de geração de frio são geralmente projetados para operar de 16 a 18 horas. Sem um controle adequado, irão operar continuamente desperdiçando energia.

- Tipo inadequado de iluminação.

Lâmpadas incandescentes produzem calor. Substituir essas lâmpadas por outros modelos (fluorescentes) contribui significativamente para a economia de energia.

- Incidência direta de raios solares e/ou isolamento deficiente.

Para câmaras frigoríficas o ideal é que se engendre uma isolação adequada para que se evitem perdas térmicas devido a diferenças de temperaturas internas e externas. Em ambientes comerciais é comum a utilização de grandes áreas envidraçadas. Utilizar cortinas, persianas ou peças arquitetônicas evita a radiação direta. Evitar também que portas e janelas

permaneçam abertas por um tempo maior do que o necessário contribui para minimizar perdas térmicas.

- Condições e forma de armazenagem de produtos nos espaços refrigerados.

A correta alocação de produtos em uma câmara é importante para a circulação do ar frio. Deve-se manter alinhamento para ocorrer o ganho de eficiência. É importante afastar balcões e ilhas das fontes de calor. É também fundamental cobrir os balcões e ilhas no final do expediente.

- Ventilador do evaporador.

Manter os evaporadores limpos é importante. Ventiladores desregulados ou sem manutenção provocam formação de gelo nos evaporadores. Esse gelo funciona como isolante térmico, contribuindo com o aumento do consumo. Manter uma manutenção preventiva de evaporadores e tubulações é vital para que se evite o consumo excessivo.

- Inexistência de controle automático de iluminação de uma câmara frigorífica.

Sempre que a porta estiver fechada é importante que a luz interna na câmara frigorífica se desligue. Sensores nas portas podem fazer o papel de acionamento.

- Ventiladores do condensador.

Deve-se evitar a utilização de ventiladores axiais descentralizados em relação à área responsável pela troca térmica. Os colarinhos de proteção dos ventiladores têm uma função importante, que é direcionar o ar para a troca térmica. Esses colarinhos devem ser mantidos em bom estado. É necessário também que não haja obstrução da circulação de ar para a troca térmica. Obstruções elevam a temperatura de condensação, e conseqüentemente há aumento do consumo de energia.

- Limpeza do condensador e do evaporador.

Deve-se cuidar para que trocadores de calor estejam livres de sujeiras, como óleo e poeira. É essencial também que haja separadores de óleo na saída do compressor, em instalações de grande porte, para evitar que o óleo do cárter se acumule em linhas da instalação.

- Existência de forçador de ar.

Esse componente é responsável pela circulação de ar. Sua ausência pode formar gelo nos evaporadores, contribuindo assim com o aumento do consumo.

- Automação do forçador de ar.

Os forçadores de ar devem ser desligados sempre que as portas do recinto estiverem abertas. Isso evita fuga de ar refrigerado e entrada de ar quente.

- Conjunto motor/compressor não alinhado ou mal fixado à base.

O mau alinhamento pode provocar perdas na transmissão e, além disso, pode provocar danos ao equipamento.

- Vazamento de óleo na gaxeta, cabeçote do compressor ou conexões.

O vazamento pode carregar fluido refrigerante, reduzindo a vida útil do equipamento, e também aumentando o consumo de energia.

- Compressor ou central de refrigeração não instalados em nível inferior ao dos evaporadores.

O compressor ou central de refrigeração deve estar abaixo do nível dos evaporadores para facilitar o retorno do óleo lubrificante do cárter e assim evitar o acúmulo do óleo nos evaporadores e tubulações.

2.4.2.2 Abordagem quantitativa

Em alguns casos é possível mensurar a energia gasta na refrigeração e também o desperdício de energia. Através de alguns cálculos se pode efetuar correções e estudos de viabilidade técnica para substituição de equipamentos. Segundo Venturini (2005), os principais estudos quantitativos na refrigeração são:

- a) Perda devido ao nível inadequado de temperatura (Pt).

Pode-se medir a perda térmica quando se tem uma temperatura abaixo da recomendada nos ambientes, através da equação 12.

$$Q_p = 0,0011639 \cdot V_f \cdot \rho_{ar} \cdot C_{par} \cdot \Delta T \quad (12)$$

Onde:

Q_p : calor de perda térmica (kW);

V_f : vazão do forçador (m^3/h);

ρ_{ar} : 1,293, massa específica do ar nas CNTP ($0^\circ C$ a $1atm$);

C_{par} : $2,793 \cdot 10^{-4}$ [kWh/kg $^\circ C$] calor específico do ar; e

ΔT : diferença entre a temperatura recomendada e a temperatura medida ($^\circ C$).

A perda de energia pelo compressor devido ao nível inadequado de temperatura pode ser dada pela equação 13.

$$E_t = \frac{Q_p \cdot C_m}{C_g} \quad (13)$$

Onde:

E_t : perda de energia devido ao nível inadequado de temperatura (kWh/mês);

C_m : consumo mensal de energia dos compressores (kWh/mês);

C_g : capacidade de geração dos compressores (kW); e

Q_p : calor de perda térmica (kW).

b) Perda devida ao tipo inadequado de iluminação.

A quantificação da energia desperdiçada com iluminação incandescente em relação à fluorescente, levando em consideração uma iluminação de 10W/m², que é a recomendada para câmaras frigoríficas, é dada pela equação 14.

$$E_i = \frac{(N_{inc}P_{inc} - 10A_c)h_{dia}D_{mês}}{1000} \quad (14)$$

Onde:

E_i = energia desperdiçada devido ao nível inadequado de iluminação (kWh/mês);

N_{inc}, P_{inc} : número de lâmpadas e potência(W), respectivamente;

h_{dia} : horas de funcionamento da iluminação por dia;

$D_{mês}$: número de dias por mês de utilização da câmara; e

A_c : área da câmara(m²).

c) Perda devido à inexistência de termostato ou pressostato.

Os equipamentos são dimensionados para trabalhar geralmente de 16 a 18 horas/dia. Na falta de controle, o funcionamento será contínuo. Levando em consideração um período de 6 horas de funcionamento indevido, o consumo extra será dado pela equação 15.

$$E_{in} = \frac{6}{24} C_m \quad (15)$$

Onde:

E_{ii} =energia desperdiçada devido à inexistência de termostato e pressostato (kWh/mês);*e*

C_m =consumo mensal de energia dos motores e equipamentos de geração de frio (kWh/mês).

d) Perda devido a incidência direta de raios solares e isolamento deficiente (Pirr).

A perda de calor por unidade de área, nas câmaras e demais ambientes, pode ser dada pela equação 16.

$$\frac{Q}{A} = 0,0011639 \cdot \frac{k_i}{l_i} \Delta T \quad (16)$$

Onde:

Q/A : perda de calor por unidade de área (kWh/m²);

k_i : coeficiente de transferência de calor do material (W/m².K);

l_i : espessura do isolante (m);*e*

ΔT : diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo acrescido de constante (°C).

A perda média de energia térmica em câmaras frigoríficas é de 0,011639kW/m². Caso a perda seja maior do que este valor, o calor excedente pode ser calculado pela equação 17, onde A é a área da parede em m².

$$Q_{irr} = \left(\frac{Q}{A} - 10\right)A \quad (17)$$

E finalmente, o consumo de energia desperdiçada pode ser calculado pela equação 18.

$$E_{irr} = \frac{Q_{irr} \cdot C_m}{C_g} \quad (18)$$

Onde:

E_{irr} : perda de energia devido a isolamento deficiente e (kWh/mês);

C_g : capacidade de geração dos compressores (kW);

Q_{irr} : perda de energia térmica (kW/m²); e

C_m =consumo mensal de energia dos motores e equipamentos de geração de frio (kWh/mês).

e) Perda devida à vedação precária de portas e cortinas.

As perdas nas vedações podem ser dadas em relação às aberturas estimadas. O total de calor perdido é dado pela equação 19.

$$Q_{ved} = 0,174585A_{est} \quad (19)$$

Onde:

Q_{ved} : calor perdido (kW); e

A_{est} : área estimada (m²).

Como esse calor é fornecido pelos geradores de calor, o desperdício total de energia pode ser dado pela equação 20.

$$E_{ved} = \frac{Q_{ved} \cdot C_m}{C_g} \quad (20)$$

f) Coeficiente de Performance (COP- *coefficient of performance*).

Essa variável é um dos principais indicadores de eficiência em um sistema de refrigeração, pois relaciona a capacidade de refrigeração dos compressores com a potência de consumo.

O COP é dado pela equação 21.

$$COP = \frac{Q_o}{P} \quad (21)$$

Onde:

Q_o : capacidade de refrigeração do sistema (kW); e

P: potência fornecida na entrada do sistema (kW).

Na prática, segundo Polletto (2006), é possível calcular a capacidade de refrigeração através da equação 22.

$$Q_o = 0,0011639 \cdot q(h_e - h_s) \quad (22)$$

Onde:

q: fluxo de massa do refrigerante (kg/s);

h_e: entalpia na entrada do compressor (kWh/kg); e

h_s: entalpia do líquido saturado referente à pressão de saída do compressor (kWh/kg).

Ainda segundo o mesmo autor, as grandezas diretas que devem ser medidas são temperatura e pressão na entrada e saída do compressor e vazão mássica. Além disso, é necessário que se conheçam as propriedades físicas do gás refrigerante.

2.4.3 Sistemas de iluminação

O projeto de um sistema de iluminação prevê um nível de iluminação adequado para cada tipo de tarefa ao qual o usuário estará submetido. No Brasil, os níveis de iluminação são especificados pela norma ABNT NBR-5413. Além do nível de iluminação, outros fatores como conforto visual, estética, índice de proteção do equipamento adequado para o ambiente (IP) são variáveis que deverão ser analisadas pelo projetista. No mercado, há uma infinidade de luminárias, lâmpadas, reatores e acionamentos que podem atender aos requisitos, cabe então ao projetista realizar o projeto de forma a atender os requisitos de iluminação suficientes, sem extrapolar os índices de eficiência mínimos.

Krause (2002) sugere que projetos de iluminação interna devem buscar:

- boas condições de visibilidade;
- boa reprodução de cores;
- economia de energia elétrica;
- facilidade e menores custos de manutenção;

- preço inicial compatível;
- utilizar iluminação local de reforço; e
- combinação de iluminação natural com artificial.

Guilliod e Cordeiro (2010) definem quinze oportunidades de conservação de energia, em sistemas de iluminação predial, mas que podem ser utilizadas para a indústria:

- identificar no sistema de iluminação os pontos de consumo elevado e desnecessário de energia elétrica;
- realizar periodicamente campanhas de uso racional de energia, para combater os desperdícios originados nos hábitos de consumo;
- adequar os níveis de iluminação aos locais de trabalho e de circulação;
- substituir lâmpadas ineficientes;
- remover lâmpadas desnecessárias;
- usar preferencialmente luminárias abertas, retirando o protetor de acrílico (quando necessário) para obter uma redução de até 50% do número de lâmpadas;
- modificar os sistemas de controle liga-desliga do sistema de iluminação para facilitar o desligamento de áreas eventualmente sem uso;
- substituir reatores de baixo rendimento;
- melhorar a manutenção do sistema de iluminação;
- projetar corretamente novos sistemas de iluminação;
- desligar luzes de dependências que não estiverem em uso;
- adequar os níveis de iluminamento ao tamanho do ambiente e tipo de atividade;
- na iluminação exterior utilizar lâmpadas de vapor de sódio com controle por células fotoelétricas;
- substituir luminárias por outras que melhorem o rendimento luminoso do conjunto luminária/lâmpada; e
- utilizar iluminação complementar sobre superfícies de trabalho, tais como pranchetas, mesas de computador, mesas de trabalho, e outros, para complementar a necessidade de maior iluminação no ambiente de trabalho;

Em resumo, um projeto eficiente em sistema de iluminação visa atender o nível de iluminação suficiente para o local, conforme orientação da ABNT NBR 5413, utilizando lâmpadas, reatores e luminárias apropriadas com alto rendimento, conciliando baixo custo e baixa manutenção.

2.4.4 Sistemas de ar comprimido

2.4.4.1 Conservação na geração de ar comprimido

A gama de aplicações envolvendo sistemas de ar comprimido é vasta, e o consumo de energia é igualmente acentuado e as oportunidades de conservação de energia nesse segmento são atraentes (Santos *et al.* 2006). Na figura 6 podem ser vistos vários tipos de perdas em um sistema de ar comprimido e suas respectivas percentagens.

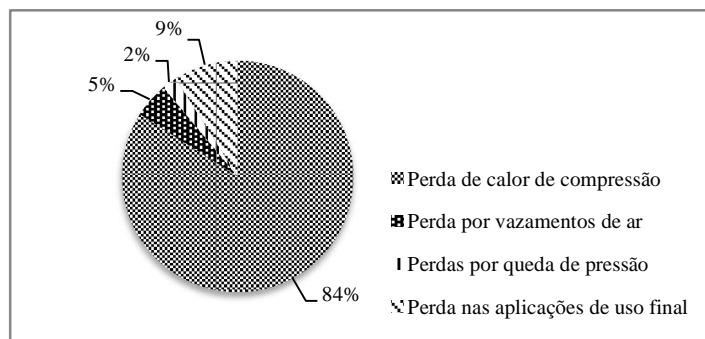


Figura 6 - Distribuição de perdas em sistemas de ar comprimido

Fonte: Eficiência Energética em sistemas de ar comprimido - manual prático-PROCEL

São vários os modelos de compressores de ar disponíveis no mercado, para atenderem às demandas de pressão e vazão. Não é objetivo deste trabalho explorar as características de cada modelo. No entanto, será crucial verificar as premissas básicas de conservação de energia para o sistema.

Segundo Santos *et al.* (2006) e Rocha e Monteiro (2006), os principais quesitos a se observarem em sistemas de ar comprimido a fim de se obter economia de energia são:

a) Aspecto de projeto.

A escolha correta dos compressores é determinante para a conservação de energia. Os modelos também devem ter alto rendimento. Na tabela 3 podem ser verificados os modelos de compressores para a faixa de trabalho.

Tabela 3 - Faixa de aplicação de compressores

Compressor	Vazão Aspirada (m ³ /min)	P ₂ max(kPa)	P ₂ /P ₁ Max
Alternativo	Até 50	250000 ou mais	4,0 (por cilindro)
Palhetas	2 a 80	900	4,0 (por carcaça)
Parafusos	10 a 700	4500	4,0 (por carcaça)
Centrífugos	50 a 2800	70000	10,0 (por carcaças de múltiplos estágios)
Axiais	1500 a 25000	1000	10,0 (por carcaças de múltiplos estágios)

Fonte: Rocha e Monteiro (2006)

b) Utilização de óleo sintético.

A utilização de óleo sintético pode reduzir o consumo de energia de 2 a 5%, além de oferecer outros benefícios. Porém, essa utilização deve ser consultada junto ao fabricante.

c) Temperatura de admissão do ar.

A energia necessária para comprimir o ar é dependente da temperatura de admissão. Quanto menor a temperatura de admissão, menor será o trabalho para comprimir uma quantidade de ar. Logo, é conveniente manter um ambiente ventilado para instalação de compressores. Isso inclui captar ar fresco e manter o ar da compressão (quente) separado do ar da admissão. Na equação 23 pode ser visto o quantitativo em porcentagem do consumo em uma diminuição na temperatura de admissão.

$$B = \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right) \cdot 100\% \quad (23)$$

Onde:

B = benefício em %;

T_0 = temperatura de admissão anterior a AEE (kelvin); e

T_f = temperatura de admissão posterior a AEE (kelvin).

d) Relação de pressão.

Outra relação com trabalho é a pressão. Quanto menor a pressão necessária nos pontos de consumo, menor será o trabalho requerido. Deve-se manter a pressão adequada conforme especificações dos equipamentos. É necessário também manter a menor perda de

carga possível para evitar o desperdício de energia. Recomenda-se uma queda máxima do ponto de consumo até a geração de 0,3 bar; 5% da pressão de geração.

e) Compressão em estágios.

Utilizar equipamentos com mais estágios é alternativa para a diminuição do consumo de energia.

f) Recuperação de calor de compressão.

Boa parte da energia gasta para compressão do ar é despendida em forma de calor. Na produção de ar comprimido ocorre o aquecimento de ar no fim do processo. O calor geralmente é rejeitado para o ambiente. Esse calor poderá ser utilizado para o aquecimento de outros processos.

g) Realização de manutenção preventiva.

A manutenção preventiva é essencial para manter os indicadores de eficiência dentro dos patamares esperados. A manutenção deverá ser efetuada conforme orientação dos fabricantes. Itens da manutenção preventiva devem ser: controle de umidade e descontaminação do ambiente, ajustes, limpezas incluindo filtros, substituição de peças e filtros, eliminação de condições adversas, inspeção de água de refrigeração e correias e correções de vazamentos.

h) Redução de perdas devido à melhoria de controle.

Quando se tem mais de um compressor é possível efetuar um controle inteligente para acionamento e controle de demanda de ar. Os principais tipos de controle são:

- ajuste de fornecimento com demanda;
- controle por cascata;
- controle de carga/vazio;
- inversores de frequência;
- controle centralizado;
- gerenciamento por faixa de controle; e
- controladores de pressão/fluxo.

i) Redução de perdas utilizando reservatório e sistema de estabilização de pressão.

Os reservatórios servem para atender à demanda da carga permitindo que os compressores permaneçam desligados ou estejam operando em alívio. O cálculo do tamanho do reservatório depende da demanda de ar e do modelo dos compressores.

j) Redução de perdas pelo tratamento do ar comprimido.

Purificar o ar contribui com a vida útil dos equipamentos, além de diminuir a perda de carga do sistema aumentando a eficiência energética global. Existem várias maneiras de filtrar impurezas. Dentre elas está a utilização de filtros, secadores e resfriadores.

k) Redução de perdas na drenagem do condensado.

Devido à presença de umidade no ar, há a formação de condensado. A eliminação desse condensado é importante para a diminuição de perda de carga, e também para o aumento da qualidade na distribuição. Há várias formas de eliminação do condensado que vão desde válvulas manuais, até automáticas com controle de nível.

l) Vazamentos.

Os vazamentos aumentam o tempo trabalhado pelos compressores e contribui para o desperdício de energia. Algumas medidas para a redução de vazamentos incluem: diminuir a pressão de trabalho, instalar válvulas solenoides na entrada de ar dos equipamentos e eliminar pontos de vazamentos. A tolerância de vazamento de instalações novas é de 5%. Há duas formas de medir o percentual de vazamento, que serão vistas no item 2.3.4.2.

Além do indicador de vazamento do sistema de ar comprimido, outros indicadores, segundo Rocha e Monteiro (2006), são de grande valia para compreender o estado de eficiência energética:

- custo específico: relaciona o custo para produzir um metro cúbico de ar comprimido- R\$/m³;
- eficiência de compreensão: relaciona a quantidade de energia elétrica para produzir 1 m³ de ar comprimido-kWh/m³;e
- consumo específico: quantidade necessária de ar comprimido para a produção de uma unidade ou quilo de produto (m³/t).

2.4.4.2 Medição de vazamento.

Parte significativa do desperdício de energia em sistemas de ar comprimido está nos vazamentos. Santos *et al.* (2006) sugerem duas formas de medir os vazamentos, relacionadas na sequência.

a) medição por diferencial de pressão no reservatório.

Neste método é necessário conhecer o volume de ar do reservatório e das tubulações.

O procedimento pode ser assim descrito:

- quantificar o volume de ar do reservatório e tubulações (m^3);
- desligar todos os equipamentos de uso final;
- elevar a pressão no reservatório até a pressão de operação p_0 ;
- fechar a válvula entre compressor e reservatório; e
- medir o tempo em que a pressão decai até uma pressão arbitrária p_1 .

A vazão perdida pelos vazamentos é estimada pela equação 24.

$$V_p = \frac{V}{t} \left(\frac{p_0 - p_1}{p_{atm}} \right) \quad (24)$$

Onde:

V_p : vazão volumétrica do ar comprimido perdida nos vazamentos (m^3/s);

V : volume total do reservatório e tubulações (m^3);

p_0 : pressão do reservatório no início do teste (bar);

p_1 : pressão no reservatório no final do teste (bar);

p_{atm} : pressão atmosférica (bar); e

t : tempo total de medição (s).

b) Medição do tempo de carga.

Esse tipo de ensaio pode ser efetuado sem se conhecer o volume das tubulações.

Segue o procedimento:

- desligar todos os equipamentos de uso final;
- ligar o compressor e aguardar até que coloque o reservatório na pressão de trabalho;
- medir os tempos em carga. Repetir cinco ciclos de compressão (carga/alívio); e
- verificar o tempo total necessário para completar os ciclos de compressão do teste.

A vazão perdida pelos vazamentos pode ser mensurada através da equação 25.

$$V_p = V_c \frac{\sum_{i=1}^m t_{ci}}{t_t} \quad (25)$$

Onde:

V_p : vazão perdida pelos vazamentos (m^3/s);

V_c : vazão do compressor (m^3/s);

$\sum t_{ci}$: tempo em carga durante a medição (s);

t_i : tempo total de medição (s); e

m : número de ciclos de carga/alívio na medição.

2.4.5 Acionamentos

2.4.5.1 Recomendações

Segundo Santos *et al.* (2006), motores representam em torno de 24% de toda a energia consumida no país. Grande parte do potencial de conservação de energia nesse nicho refere-se ao sobredimensionamento dos equipamentos e a utilização de motores de baixo rendimento.

Uma alternativa que atualmente está sendo difundida é a utilização de motores com alto rendimento, que são fabricados com projeto e materiais diferenciados diminuindo as perdas inerentes a sua natureza. As principais diferenças construtivas, segundo Santos *et al.* (2006), são: aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, projeto otimizado das ranhuras, superdimensionamento das barras do rotor, utilização de chapas magnéticas de boa qualidade, emprego de rolamentos adequados, otimização do projeto de ventiladores e regularidade de entreferro. Essas medidas podem acarretar uma redução de 30% das perdas.

Os motores de alto rendimento possuem custo elevado, por isso, em muitas situações a substituição não é atraente. No entanto, em muitas outras situações, por apresentarem o custo operacional (principalmente consumo de energia) alto, torna-se vantajosa a substituição de motores convencionais pelos de alto rendimento.

De base em Santos *et al.* (2006), relacionam-se a seguir os principais procedimentos para obter maior economia de energia em motores e acionamentos.

- Carregamento entre 75% e 100%.

Motores com carregamentos abaixo de 75% estão sobredimensionados. Esse fato acarreta baixo fator de potência e também desperdício de energia. Nessas situações pode-se viabilizar a substituição do motor por outro de menor potência. Deve-se atentar para o tipo de

carga, uma vez que muitas vezes o sobredimensionamento é intencional para a partida, devido à natureza da carga.

- Utilização de inversores de frequência.

Em muitas aplicações, envolvendo movimentação de fluidos, há necessidade de variação de fluxo, a qual, geralmente é efetuada por válvulas de estrangulamento. Existe a possibilidade de se utilizar a variação na velocidade dos motores que acionam bombas ou ventiladores para diminuir o fluxo. Esse método economiza energia, reduz perdas, ruídos e desgastes mecânicos.

- Redimensionamento de ventilador.

Somente motores que giram em apenas um sentido podem ter seus ventiladores de resfriamento redimensionados. Por outro lado, motores com ventiladores dimensionados para os dois sentidos possuem menor rendimento que os outros.

- Verificação de acoplamento.

Verificar as condições de acoplamento, ajustando alinhamentos e eliminação de possíveis folgas é fundamental. Redutores também podem ocasionar perdas. É necessário verificar atritos com engrenagens, ventilação e viscosidade de óleo lubrificante. O correto aperto das correias também contribui para o maior rendimento. As correias mais usuais são as em V, corrugadas e dentadas; as quais possuem rendimentos diferentes, sendo as dentadas as de maior eficiência e as corrugadas e em V, respectivamente.

- Limpeza e lubrificação de mancais.

Convém manter os mancais limpos, e também lubrificados, para diminuir as perdas por atrito.

- Possibilidade de desligamento.

Em muitas aplicações os motores permanecem por um período relativamente longo trabalhando em vazio. Deve-se efetuar um estudo do que é mais vantajoso, trabalhar a vazio ou efetuar vários acionamentos durante o dia. A regra prática, segundo o autor, é de que se o consumo de energia durante a partida é menor do que o consumo no intervalo em que o motor está a vazio, será vantajoso deixá-lo desligado. Recomenda-se desligar o motor quando o tempo a vazio for 10 vezes maior do que o tempo de partida.

- Mudança de conexão de enrolamentos.

Muitos motores possuem seis terminais para conexão de alimentação, que servem para efetuar a partida estrela-triângulo. O objetivo é diminuir a corrente de partida. Em muitas

aplicações há períodos ociosos com pouca carga. Exemplos são misturadores e esteiras. Nestes períodos pode-se passar da ligação triângulo para a estrela. Tal método possibilita aumentar o rendimento e diminuir o consumo, recomenda-se que seja realizado para um carregamento menor do que 45% do nominal.

- Qualidade de tensão.

Manter o equilíbrio de tensão nas três fases é importante. Outra característica relevante é a de eliminar as harmônicas, visto que, desequilíbrio e harmônicas contribuem com aumento de perdas e aquecimento, além da diminuição da vida útil dos motores.

- Substituição de enrolamento.

Outro fator que influi na eficiência energética é o rebobinamento. Um motor perde de 1% a 5% do rendimento ao substituir-se o enrolamento (EASA). Para evitar queima de motores é importante dimensionar corretamente a proteção e manter as manutenções preventivas em dia.

2.4.5.2 Teste de carregamento

Santos *et al.* (2006) apresentam um método simples para verificar o carregamento de um motor, ou seja, através de linearização. A curva de conjugado *versus* rotação em um motor de indução pode ser vista na figura 7.

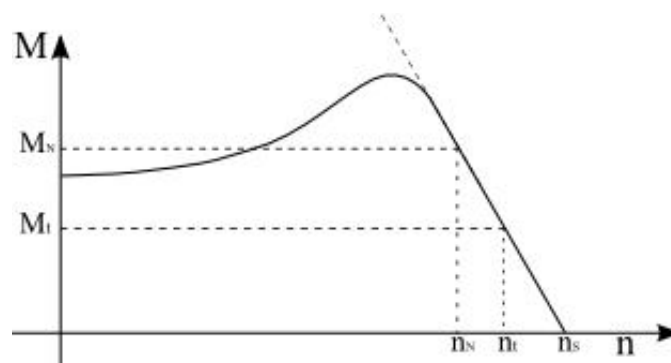


Figura 7- Curva típica de conjugado *versus* rotação em motor de indução
Fonte: Santos *et al.* (2006)

Dentro da região de operação, a curva pode ser linearizada. Através da medição da rotação do motor pode-se verificar o conjugado através da equação 26.

$$M_t = M_N \left(\frac{n_S - n_t}{n_S - n_N} \right) \quad (26)$$

Onde:

M_t : conjugado de trabalho (cv/rpm);

M_N : conjugado nominal (cv/rpm);

n_S : rotação síncrona (rpm);

n_N : rotação nominal (rpm); e

n_t : rotação de trabalho (rpm).

O conjugado nominal pode ser dado pela equação 27,

$$M_N = \frac{P_N}{n_N} \quad (27)$$

Onde P_N é a potência nominal do motor em cv.

A potência de trabalho em cv é dada pela equação 28.

$$P_t = M_t \cdot n_t \quad (28)$$

Finalmente, o fator de carregamento é dado pela relação 29.

$$F_c = \frac{P_t}{P_N} \quad (29)$$

Outra maneira de medir o carregamento é através da medição de corrente.

Estimar a rotação de trabalho é possível através da equação 30.

$$n_t = n_S - \left(\frac{I_t - I_O}{I_N - I_O} \right) \cdot (n_S - n_N) \quad (30)$$

Onde:

I_t : corrente de trabalho (A);

I_0 : corrente a vazio (A); e

I_N : corrente nominal (A).

A corrente a vazio é facilmente estimada afrouxando as correias quando possível. Quando não é possível esse procedimento, a corrente a vazio pode ser estimada pela equação 31, onde P_N é a potência nominal do motor em cv. As constantes A_0 e B_0 dependem da potência e do número de polos do motor e podem ser obtidas através da tabela 4.

$$\frac{I_0}{I_N}(\%) = A_0 - B_0 \ln(P_N) \quad (31)$$

Com os dois métodos apresentados e utilizando instrumentos de medição, como alicate amperímetro ou tacômetro, é possível estimar-se o fator de carregamento de motores de indução.

Tabela 4 - Constantes para cálculo decorrente a vazio para motores de indução

Polos	8	6	4	2
A_0	77,463	72,11	67,484	56,655
B_0	7,145	7,13	7,49	6,866

Fonte: Santos *et al* (2006)

2.4.6 Bombas de fluxo e ventiladores

Bombas de fluxo e ventiladores possuem um ponto de funcionamento, dependendo das variáveis de vazão, altura manométrica e rotação. No entanto, em muitas aplicações existe a necessidade de operar fora desse ponto, alterando a vazão. É costume diminuir a vazão por meio de válvulas de estrangulamento ou recirculação, procedimentos que acarretam um aumento de pressão na linha e também as perdas do sistema. Na figura 8 pode ser visualizado

o gráfico que demonstra o rendimento *versus* vazão de um modelo de bomba. Nota-se que o rendimento máximo se dá em uma vazão específica. Importante salientar que esse gráfico refere-se à rotação constante. Ao variar a rotação da bomba é possível mover o ponto de melhor rendimento para diversas vazões.

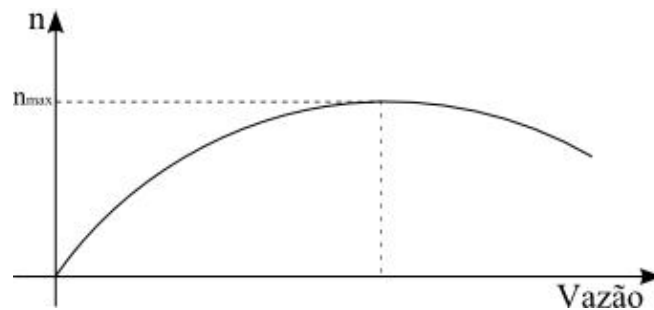


Figura 8 - Curva de rendimento *versus* vazão

Há uma variedade de bombas no mercado, com geometria e modelos diferenciados para cada aplicação. As principais diferenças se aplicam pelo tipo de rotor, pela quantidade de estágios e pela posição das pás do rotor. A escolha da bomba se dá por intermédio de parâmetros do projeto, como vazão, altura da coluna de água, tipo de líquido (ou gás) envolvido e pressão. Tal escolha pode ser observada nas tabelas dos fabricantes. O dimensionamento, visando à conservação de energia, consiste em operar a bomba em seu ponto ótimo de rendimento. Alguns métodos podem ser utilizados com objetivo de aumentar a eficiência energética na utilização de bombas de fluxo. O principal deles é variar a velocidade do motor em vez de estrangular o fluxo através de válvulas. Essa variação é dependente do acionamento de motores através de inversores, o que por vezes não atende a um retorno econômico rápido.

Outra possibilidade de variar a vazão de uma bomba consiste em alterar as dimensões de seu rotor através de usinagem. Com esse procedimento é possível alterar a vazão nominal.

Nem sempre são encontradas bombas que operem no ponto ótimo de projeto, mas é possível efetuar associações em série ou em paralelo para adequar as curvas características de operação ao melhor rendimento (Monachesi, 2005). Em muitas aplicações pode-se alterar o funcionamento entre uma ou mais bombas para atender às demandas de vazão solicitadas.

Com sistemas inteligentes (PLC ou sistema supervisório) é possível acionar a bomba com melhor rendimento para determinada vazão.

Outra questão relacionada à conservação de energia em máquinas de fluxo se refere ao acoplamento. Mantê-lo alinhado e com manutenção adequada contribui para maior rendimento.

Outros problemas ocorridos durante a fase de projeto, a saber, a cavitação, barriletes de recalques complexos e utilização de conexões em excesso, também constituem esse cenário e contribuem para o desperdício de energia.

Em síntese, segundo (Monachesi, 2005), são duas as formas de economizar energia no funcionamento dos motores que impulsionam bombas. A primeira trata de instalações adequadas do ponto de vista da hidráulica:

- manter a tubulação em bom estado de conservação quanto à rugosidade interna;
- trabalhar com arranjos de concepção de projeto e de operação que sejam norteados pela melhor setorização das zonas de pressão, evitando-se o desperdício com altas pressões na rede, que, além de tudo, são um fator de indução de perdas hidráulicas reais e que se traduzem, em última análise, em ineficiência energética;
- variar a velocidade dos motores elétricos, de modo a adequar o ponto de funcionamento da bomba ao seu máximo rendimento, conforme a demanda varie (procedimento mais usual em abastecimento em marcha); e
- escolher o conjunto motor-bomba com melhor rendimento para o ponto de trabalho desejado (pode parecer óbvio, mas é um ponto importante e, de certa forma, trabalhoso quando se verifica o funcionamento para as diversas condições possíveis de operação).

E a segunda ou outra forma que não economiza diretamente a energia, mas afeta a qualidade do sistema diz respeito a evitar ou reduzir o consumo no horário de ponta da concessionária. Aspectos esses que já foram discutidos nas características de curva de carga e tarifas no item 2.3.1.

2.4.7 Quadros de distribuição de circuitos

Pouco provável será efetuar um estudo de conservação de energia sem atentar para quadros de distribuição de circuitos. Neles estão os componentes básicos para conexão e

proteção dos mesmos. O fundamental para a conservação de energia em quadros está no dimensionamento dos componentes, bem como na sua manutenção preventiva. Segundo Krause (2002), em uma instalação elétrica há duas perdas por efeito Joule. Uma é inerente aos componentes; a outra ocorre nas conexões entre os elementos. Nota-se então, que para alterar as perdas em componentes é preciso substituir o equipamento por outro de diferentes especificações. Já em se tratado de conexões, manutenções preventivas e preditivas são os principais agentes para minimizar o desperdício de energia.

Para Krause (2002), deve-se atentar para três quesitos, em quadros elétricos, visando à conservação de energia.

- Cabos Elétricos.

Os cabos devem ser dimensionados conforme normas específicas. Para instalações de baixa tensão a ABNT 5410 apresenta três métodos para dimensionamento de condutores, sendo eles: seção mínima para determinada aplicação, capacidade de corrente e queda de tensão. O cabo que deve ser utilizado é aquele que apresentar a maior seção definida entre os três métodos.

Outra questão se refere ao tipo do condutor. Os mais utilizados são alumínio e cobre, sendo o cobre o de menor resistividade e que apresenta a menor perda. Uma vez que é comum aumentar as cargas nos circuitos, torna-se importante atentar para o aumento das perdas e verificar a possibilidade de redimensionamento do cabo.

- Equilíbrio de fases.

Para diminuir as perdas é necessário haver uma distribuição de cargas nas várias fases. Sendo relevante também realizar emendas bem feitas nos condutores e utilizar fita isolante adequada para tal finalidade, assim como utilizar cabos de boa qualidade. Condutores de baixa qualidade perdem isolação rapidamente. Essa perda faz com possa haver curtos-circuitos e fugas de corrente, contribuindo assim para desperdício de energia.

- Sistema de proteção.

Os elementos de proteção, como fusíveis e disjuntores, devem ser dimensionados coerentemente. Elementos bem dimensionados contribuem para o bom funcionamento da instalação, e também evitam acidentes em caso de sobrecarga ou outras anomalias. É importante manter os quadros sempre limpos com boa ventilação ou refrigeração, quando possível, e efetuar aperto de conexões em tempos definidos. Efetuar análises com câmeras

termográficas é comum para verificação de sobreaquecimento. A comparação da temperatura registrada na inspeção e máxima temperatura admissível (MTA) pode ser vista na tabela 5.

Componente	MTA (°C)
Condutor com isolamento PVC	70
Condutor com isolamento EPR ou XLPE	90
Régua de bornes	70
Conexões mediante parafusos	70
Conexões e barramentos de baixa tensão	90
Conexões recobertas de prata ou níquel	90
Fusível (corpo)	
Seccionadoras	50
Conexões	60
Cabos	60
Transformador a óleo - conexões	90
Transformador a óleo - corpo	80
Transformadores a seco - Ponto mais aquecido	
classe de isolamento 105	65
classe de isolamento 130	90
classe de isolamento 155	115
classe de isolamento 180	140

Tabela 5 - Máxima temperatura admissível de componentes
Fonte: Adaptado de Campos *et al.* (2011)

2.4.8 Transformadores

Atualmente, a maior parte da energia gerada é em média tensão. O nível adequado de utilização de energia na maioria dos casos se dá em baixa tensão. Isso remete a necessidade de utilização de transformadores, os quais têm por principal função a conversão de níveis de tensão. Na maioria dos contratos, a concessionária fornece ao consumidor energia em média tensão. Passa a ser responsabilidade, então, do cliente adequar o nível de tensão para o uso final, utilizando transformadores.

Há três aspectos na utilização de transformadores que definem conservação de energia, sendo eles, o tecnológico, sua utilização e seu dimensionamento. A seguir serão examinados cada um desses aspectos.

2.4.8.1 Aspecto tecnológico.

Segundo Krause (2002), as perdas em transformadores ocorrem em três níveis, em se tratando de sua natureza: no ferro, no cobre e em transformadores ligados em paralelo. As

perdas são dependentes dos materiais empregados na construção, como também da intensidade e da qualidade da carga e tensão impostas no primário ou secundário.

As perdas no ferro independem da carga e ocorrem sempre que o transformador estiver ligado. Elas são originadas por “correntes parasitas”, também chamadas de Foucault e histerese magnética. Para diminuir as perdas no ferro é necessário efetuar um projeto ótimo e utilizar materiais de boa qualidade na construção. Na prática, para diminuir as perdas por corrente parasita são utilizadas placas de pequena espessura separadas por material isolante para compor o núcleo. Para diminuir as perdas por histerese são utilizados materiais ferromagnéticos de alta permeabilidade magnética.

As perdas no cobre são as de efeito Joule, decorrentes das correntes que circulam nos enrolamentos conforme equação 32.

$$P = I^2R \quad (32)$$

Onde:

P: potência(W);

R: resistência elétrica dos enrolamentos (Ω); e

I: corrente circulante (A).

Verifica-se, que a perda é dependente da resistência do material empregado e também do quadrado da corrente circulante. Na construção é necessário, portanto, utilizar condutores de baixa resistência. No aspecto tecnológico deve-se adquirir transformadores de alto rendimento. Uma alternativa, segundo Krause (2002), é utilizar transformadores com núcleo de materiais amorfos que possuem perdas 60% a 70% menores do que os convencionais. De qualquer forma, o rendimento está especificado na placa do equipamento. Através do Plano Brasileiro de Etiquetagem é possível adquirir equipamentos dentro de limites mínimos de rendimento. Algumas empresas já fornecem modelos de transformadores com selo PROCEL de economia. Espera-se que em breve mais modelos, com diversas potências, possam ser fornecidos nesse segmento de certificação. Enquanto isso não ocorrer, recomenda-se que se adquiram equipamentos através de consultoria de especialista na área.

2.4.8.2 Aspectos de utilização e dimensionamento.

No dimensionamento e utilização de transformadores há várias medidas a serem tomadas para evitar o desperdício de energia. Krause (2002) destaca as principais.

Caso a instalação possua mais de um transformador, é possível desligar um ou mais deles quando cargas não estiverem sendo utilizadas, por exemplo, na iluminação externa. Para isso é necessário realocar cargas.

- a) Transformadores trabalhando em sobrecarga despendem muita energia por efeito Joule e a baixa carga possui um consumo reativo considerável. O ideal é que os transformadores estejam com carga entre 30% a 70% da nominal.
- b) Na instalação de transformadores em paralelo é importante que tenham a mesma relação de transformação, apresentem as potências mais próximas o possível e as impedâncias internas sejam idênticas. Essa medida diminui as perdas por efeito Joule.
- c) Manter uma carga adequada evita também perda no transformador. Qualidade na carga significa menor nível de harmônicas, manter o fator de potência o mais próximo da unidade possível e manter o equilíbrio de corrente nas fases. Para manter a carga adequada, há possibilidade de utilizar filtros passivos e ativos, máquinas síncronas e banco de capacitores. Para cada caso há alternativas técnicas e econômicas a serem tomadas.
- d) Manter o óleo isolante sob qualidade prevista é fundamental para que se evite acúmulo de impurezas, se realize uma troca térmica adequada e se prolongue a vida útil do transformador. Recomenda-se que se façam análises periódicas do óleo. No quadro 3 pode ser verificado um cronograma de rotina de controle de óleo.

Além do exposto, deve-se salientar que atualmente é alta a quantidade de equipamentos com características elétricas não lineares em uma instalação, que geram correntes harmônicas. Ao se dimensionar o transformador é necessário que se conheça a quantidade de harmônicas e o fator k . O fator k é proporcional à quantidade de harmônicas e impacta nas características do transformador a ser especificado.

ROTINA DE CONTROLE DO ÓLEO DOS TRANSFORMADORES		
Antes da colocação sob carga	Cada três meses de utilização	Cada dois anos de utilização
Tensão de ruptura	x	
Teor de água	x	
Resistividade	x	
Fator de Dissipação		x
Índice de Neutralização		x
Ponto de Fulgor		x
Tensão interfacial		x

Quadro 3 - Rotina de controle do óleo dos transformadores
Fonte: Krause (2002)

2.4.9 Qualidade de energia

Com a maior utilização de cargas com características elétricas não lineares, como inversores de frequência, *dimmers* (controle de intensidade luminosa), reatores eletrônicos, controle eletrônico para chuveiro, *nobreaks*, entre outros, as perdas no sistema elétrico passaram a aumentar. O sistema brasileiro de geração e transmissão é trifásico em corrente alternada. No sistema ideal, as tensões em qualquer ponto deveriam ser puramente senoidais, equilibradas e com amplitudes e frequência constantes. Qualquer desvio desses parâmetros, dentro de certos limites impostos, significa perda da qualidade de energia (Santos *et al.* 2006).

Os principais problemas relacionados à qualidade de energia de acordo com Krause (2002) são: harmônicos, flutuação de tensão, oscilação de tensão e sistemas desbalanceados.

a) Harmônicos

Segundo Krause (2002), uma forma de onda periódica pode ser decomposta por uma soma de senos e cossenos. Essa soma é formada por uma componente com frequência da onda periódica (fundamental) e outras componentes harmônicas (múltiplas da frequência fundamental). O ideal seriam ondas sem a presença de harmônicas, ou seja, somente com a fundamental. Na prática nem sempre isso é possível. Segundo o autor os principais problemas causados por harmônicas são:

- perdas adicionais e aquecimento em máquinas elétricas e capacitores;
- interferência nos sistemas de telefonia;

- aumento da corrente de neutro;
- aumento das perdas em condutores;
- erros em instrumentos convencionais por efeitos harmônicos;
- redução da vida útil de lâmpadas incandescentes;
- necessidade de sobredimensionamento de transformadores devido as suas perdas;
- operação inadequada dos sistemas de controle;
- ruídos adicionais em motores e outros dispositivos; e
- sobretensões causadas pelas ressonâncias na rede.

As harmônicas, segundo o mesmo autor, são divididas em três categorias, Têm-se as fontes pequenas e previsíveis, geralmente comerciais e residenciais; as grandes e aleatórias, geradas por fornos a arco e fontes grandes; e as previsíveis, geradas por conversores estáticos.

Algumas medidas para diminuir o efeito das harmônicas são:

- utilização de *nobreaks* e filtros para harmônicos nos equipamentos;
- utilização de condicionadores de potência, os quais fornecem altas potências em pequenos intervalos de tempo;
- alteração nos sistema de distribuição, onde com o tipo de ligação de transformadores é possível isolar algumas harmônicas do sistema; e
- utilização de equipamentos com características elétricas lineares, sempre que possível.

A forma mais comum de medir o nível de harmônicas é através da distorção harmônica total (THD-*Total Harmon ic Distortion*-IEEE-519-1992). A THD é dada pela equação 33.

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} C_n^2}{C_1^2}} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} C_n^2}{C_1}} \cdot 100\% \quad (33)$$

Onde C_1 e C_n são as amplitudes dos harmônicos de ordem fundamental e “n” respectivamente. A THD pode ser tanto de tensão como de corrente.

No item 2.3.8 foi comentada a necessidade de se verificar o nível de harmônicas para dimensionamento do transformador. Harmônicas possibilitam que haja um aumento de temperatura no transformador, por isso a necessidade de haver uma especificação diferenciada. A corrente de projeto de um transformador deve ser multiplicada por um fator

k. Esse fator k é dado pela equação 34, onde h é a ordem da harmônica e I_h é o nível do harmônico.

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \cdot \sum h^{1,6} \cdot I_h^2}} \quad (34)$$

b) Flutuação de Tensão (*Flicker*)

A flutuação de tensão ou *flicker* está associada geralmente a equipamentos que drenam correntes variáveis a cada ciclo como fornos a arco (Krause, 2002). Esse fenômeno pode causar oscilação nos sistemas de iluminação, provocando desconforto. Algumas formas de minimizar esse efeito, segundo o mesmo autor são:

- utilização de componentes estáticos;
- instalação de capacitores em série; e
- aplicação de compensadores estáticos.

c) Oscilação de Tensão

As oscilações de tensão podem ser provocadas por curtos-circuitos e manobras no sistema elétrico. Estas oscilações podem configurar uma queda de tensão ou sobretensões. Apesar de, geralmente, serem de curta duração (até um minuto) podem provocar danos aos equipamentos de uso final, como queima de lâmpadas, assim como outros equipamentos podem operar de forma incorreta. Para Krause (2002), há duas formas de se evitar as oscilações:

- através da utilização de regulador/estabilizador de tensão; e
- aplicação de transformador à tensão constante.

d) Sistemas Desbalanceados

O desbalanceamento é, em essência, a diferença na amplitude entre as tensões ou defasagem diferente de 120° . Esse desbalanceamento pode provocar aquecimento em máquinas girantes e desempenho indesejado em equipamentos. Para evitar tal fato é importante utilizar as fases com correntes equilibradas e, se necessário, usar compensadores eletromagnéticos ou eletrônicos.

3 MATERIAS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada no período de 2011 a 2013 em um frigorífico de abate de aves.

A empresa está situada na região Sudoeste do Paraná e tem como principal atividade a avicultura de frango de corte. Dotada de todos os processos produtivos para a comercialização do produto final, realiza desde a criação até o abate de aves; incluindo outros processos secundários, como fábrica de ração e transporte das aves. Esta pesquisa foi realizada no frigorífico de abate de aves. No início de 2012, a empresa abatia aproximadamente 65 mil aves dia. Atualmente, a sua maior demanda energética está na energia elétrica, lenha e óleo diesel. Dentre os processos os que mais se destacam em consumo energético são: a sala de máquinas, onde estão os compressores para produção de frio; a caldeira, para produção de vapor; geradores a diesel, para fornecer energia elétrica na ponta e em casos de emergência; e compressores de ar comprimido.

A metodologia empregada no trabalho pode ser vista na figura 9.

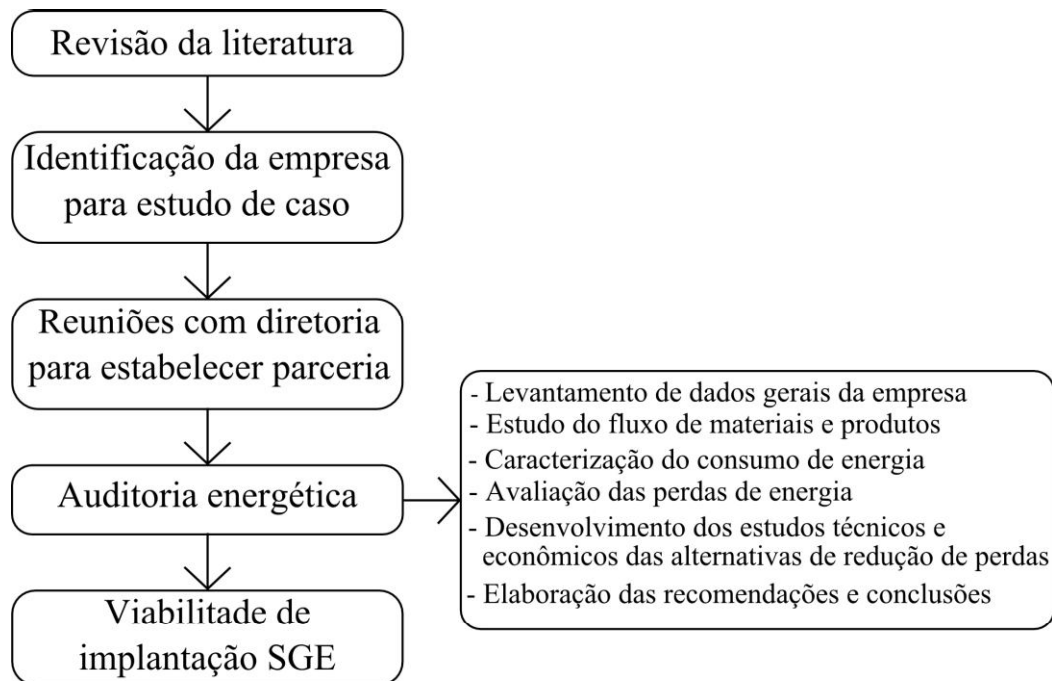


Figura 9 - Fluxograma da metodologia empregada no trabalho

Conforme figura 9, inicialmente efetuou-se uma revisão da literatura sobre o histórico de programas de eficiência energética, seguido de uma análise da norma ABNT NBR ISO 50001, que trata da gestão de energia. Em virtude do campo de eficiência energética no setor industrial ser muito amplo e variar em função do tipo de instalações industriais de cada atividade, escolheu-se a atividade de frigoríficos de aves, para servir como estudo de caso, por ser abundante na região e apresentar um consumo de energia considerável.

Este estudo de caso tem a finalidade de verificar a cultura da gestão da energia, sob os moldes apresentados na norma referida anteriormente, bem como identificar os principais desafios na implantação de um sistema de gestão.

Para tal foi proposta a elaboração de um conjunto de fronteiras e módulos temáticos que mapeiam o consumo e transformação de energia por setores. Tendo determinado as fronteiras dos setores, foram identificadas as variáveis e faixas de operação que deveriam ser monitoradas, assim como os locais que poderiam receber um instrumento de medição.

Assim foi possível especificar os equipamentos necessários para efetuar as medidas em cada setor, conforme tabela 6.

Havendo demarcado os pontos que seriam monitorados e os equipamentos que seriam utilizados, passou-se à etapa de aquisição de dados.

Após terem sido compilados os dados, os mesmos foram analisados e manipulados utilizando-se as equações demonstradas na revisão de literatura e especificadas no item 3.1, discriminadas para cada setor avaliado. Cabe ressaltar que os setores foram classificados em função do percentual de consumo de energia sobre o consumo total. Os cálculos com as equações e dados foram obtidos utilizando-se planilha eletrônica.

Considerando que o consumo de energia não apresenta uma relação com eficiência energética da planta, foram determinados alguns indicadores capazes de correlacionar consumo de energia com produtividade. O primeiro macroindicador determinado foi o consumo energético por quantidade de produto produzido. Assim foram estabelecidas as linhas de base energética dos principais insumos energéticos da planta. Após levantamento das linhas de base energética foram quantificadas e qualificadas algumas características intrínsecas de módulos temáticos para cada fronteira.

Após ter efetuado as medições e o cálculo para estabelecer as linhas de base e caracterização de módulos, foi feito um estudo técnico e econômico de alternativas de redução de perdas para viabilizar a implantação de um sistema de gestão de energia. Também

foi elaborado um relatório apontando as principais dificuldades encontradas na condução dos trabalhos.

Fronteira	Objetivo	Variáveis de interesse	Instrumento de medida	Tempo de amostragem
Planta toda	Linha de base de energia elétrica	Consumo de energia elétrica	Banco de dados	Dois anos
	Linha de base de lenha	Consumo de lenha	Banco de dados	Dois anos
	Linha de base de óleo diesel	Consumo de óleo diesel	Banco de dados	Dois anos
	Módulo temático análise tarifária	Demanda, multas, consumo e fator de carga	Contas de energia	Um ano
Sistema de refrigeração	Consumo setorial	Consumo de energia e potência	Analizador de energia	Duas horas
	Módulo temático quadros de distribuição de circuitos	Temperatura	Termovisor	Instantâneo
	Módulo temático qualidade de energia	Desbalanceamento de corrente	Analizador de energia	Duas horas
	Módulo temático acionamentos	Fator de carregamento e corrente	Amperímetro	Instantâneo
Sistema de ar comprimido	Consumo setorial	Consumo de energia elétrica e potência	Analizador de energia	Três horas
	Módulo temático qualidade de energia	Desbalanceamento de corrente	Analizador de energia	Três horas
	Módulo temático quadros de distribuição de circuitos	Temperatura	Termovisor	Instantâneo
	Módulo temático sistemas de ar comprimido	Vazamentos	Cronômetro e sistema supervisor dos sistemas de ar comprimido	Ciclo de carga e descarga
Área da produção	Consumo setorial	Consumo de energia elétrica e potência	Analizador de energia	Três horas
	Módulo temático qualidade de energia	Desbalanceamento de corrente	Analizador de energia	Três horas
	Módulo temático quadros de distribuição de circuitos	Temperatura	Termovisor	Instantâneo
	Módulo temático sistemas de iluminação	Nível de iluminação	Luxímetro	Instantâneo
	Módulo temático acionamentos	Fator de carregamento e corrente	Amperímetro	Instantâneo
Área administrativa	Consumo setorial	Consumo de energia elétrica e potência	Analizador de energia	Três horas
	Módulo temático qualidade de energia	Desbalanceamento de corrente	Analizador de energia	Duas horas
	Módulo temático quadros de distribuição de circuitos	Temperatura	Termovisor	Instantâneo
	Módulo temático sistemas de iluminação	Nível de iluminação	Luxímetro	Instantâneo
Subestação	Módulo temático transformadores	Fator k	Analizador de energia	15 minutos

Tabela 6 - Definição de fronteiras para especificar equipamentos de medição

A auditoria energética tem como principal objetivo verificar as dificuldades em se obter dados que servirão para determinar as linhas de base e os indicadores. As medições efetuadas serviram, principalmente, para quantificar e caracterizar a utilização de energia no frigorífico. Esta proposta é válida para levantamento de dados das fronteiras e também dos módulos pertencentes a essas delimitações, além das linhas de base energética e de alguns indicadores.

Os resultados do estudo de caso podem ser vistos no capítulo 4. Os principais, registrados e calculados, foram linhas de base de energia elétrica, óleo diesel e lenha, fator de carregamento de alguns motores, temperaturas de painéis registradas através de câmera termográfica e vazamento de sistema de ar comprimido.

A seguir apresenta-se o método adotado para obtenção de resultados para cada módulo temático e fronteiras analisadas.

3.1 SISTEMAS COM USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA

A identificação de setores e módulos temáticos com uso significativo de energia foi importante para estabelecer em que situações possíveis ações em eficiência energética trazem maior retorno. Nessa identificação objetivou-se também se conhecer o módulo temático com maior consumo. Através disso foi possível propor alterações para aumentar a eficiência do mesmo. Para estabelecer o consumo de energia elétrica foi efetuada a medição de potência média dos quadros elétricos e também utilizado banco de dados do medidor de energia da concessionária. Inicialmente, mediu-se a potência média dos quadros elétricos, conforme tabela 7. Para isso foi utilizado um analisador de energia Fluke 432. Nota-se na tabela que: com exceção, a área administrativa e de produção possuem quadros exclusivos; o sistema de ar comprimido possui dois quadros de distribuição; a sala de máquinas, onde estão alocados os compressores para o sistema de refrigeração, possui seis CCM's (Centro de controle de motores).

O consumo de energia foi dividido em dois períodos, o de produção e o fora de produção. No horário fora de produção, o consumo de energia serve praticamente ao atendimento do sistema de refrigeração. Este consumo foi contabilizado através do banco de dados do medidor da concessionária, em um período de trinta dias consecutivos. Para horário

de produção, calculou-se o consumo médio de cada painel multiplicando-se a potência média pelo tempo relativo ao horário de produção, no mesmo período de análise.

Tabela 7- Quadros para medição de potência

Local	Setor
QD 01- Ar. Comp.	Sala de Compressores de ar comprimido
QD-02 Ar. Comp.	Sala de Compressores de ar comprimido
QD-ADM	Administração
CCM- Produção	Fábrica
CCM-01	Sala de máquinas
CCM-02	Sala de máquinas
CCM-03	Sala de máquinas
CCM-04	Sala de máquinas
CCM-05	Sala de máquinas
CCM-06	Sala de máquinas

Por meio da análise, chegou-se ao consumo de energia de cinco diferentes setores: Ar Comprimido, Refrigeração, Fábrica, Área Administrativa e Outros. Nota-se que Ar Comprimido e Refrigeração são dois módulos temáticos e a delimitação de fronteira é a medição de energia elétrica. Para o sistema de Ar Comprimido contabilizou-se o consumo de energia dos dois quadros desse setor no período de produção. Para a Área Administrativa e Fábrica contabilizou-se o consumo de energia dos respectivos quadros. Para Refrigeração contabilizou-se o consumo dos seis quadros desta área no período de produção e, em seguida, somou-se à energia consumida no período fora de produção. E ainda, Outros se refere à energia não identificada dos demais setores, que foi mensurada através do consumo total no mês de análise diminuindo-se o consumo contabilizado dos demais setores.

3.2 LINHAS DE BASE ENERGÉTICA

As linhas de base energética propostas foram as dos três principais insumos energéticos da planta, sendo eles, energia elétrica, óleo diesel e lenha. Os dados de produção, consumo de lenha e óleo diesel foram fornecidos pela equipe de manutenção. Os dados de consumo de energia elétrica foram obtidos por meio de faturas de energia da concessionária.

O modelo que melhor se adequou à elaboração das linhas de base foi a relação entre o consumo energético em um intervalo de tempo e o total de produção no mesmo intervalo. As linhas de base de energia elétrica, óleo diesel e lenha foram elaborados segundo as equações 35, 36 e 37.

$$LBEE = \frac{\sum EE}{Prod.} \quad (35)$$

$$LBOD = \frac{\sum OD}{Prod.} \quad (36)$$

$$LBL = \frac{\sum L}{Prod.} \quad (37)$$

Onde:

LBEE: linha de base de energia elétrica (kWh/ton);

LBL: linha de base de lenha (m³/ton);

LBOD: linha de base de óleo diesel (l/ton);

Prod.: produção (toneladas);

EE: energia (kWh);

L: lenha (m³); e

OD: óleo diesel (l).

Depois de calculadas as linhas de base energética, calculou-se o fator de correlação entre cada linha de base e a produção, para estabelecer uma relação entre as variáveis. Segundo Moore (2007), a correlação de Paeson mensura o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. O coeficiente de correlação, segundo o mesmo autor, é dado pela equação 38.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{xi - \bar{X}}{Sx} \right) \left(\frac{yi - \bar{Y}}{Sy} \right) \quad (38)$$

Onde:

r=fator de correlação;

Sx=desvio padrão de x;

Sy=desvio padrão de y;

xi=variável x;

y_i =variável de y;

X =média de x;

Y =média de y;

S_x =desvio padrão de x;

S_y =desvio padrão de y; e

n =número de amostras.

O coeficiente de correlação de Paerson pode variar de -1 a 1. A correlação perfeita ocorre em 1 e -1. Quanto mais próximo de 0 menor a força de correlação. Cohen (1998) sugere que valores entre 0,1 e 0,29 podem ser considerados pequenos; valores entre 0,30 e 0,49 são médios e valores entre 0,50 e 1 são grandes.

3.3 MÓDULOS TEMÁTICOS

3.3.1 Análise Tarifária

Este estudo teve por finalidade verificar o comportamento da carga, fator de potência diferente do estipulado por regulamentação, multas e também se a demanda contratada está adequada à solicitação de energia da planta. O levantamento de dados foi feito nas contas de energia elétrica dos meses de janeiro a dezembro de 2011. Após a coleta de dados, foi realizada uma análise de fator de potência, fator de carga, consumo na ponta e fora de ponta e multas por ultrapassagem de demanda.

3.3.2 Acionamentos

O carregamento de trinta e nove motores de indução foi analisado para quantificar possíveis ganhos com conservação de energia. Deste total, foram nove motores dos compressores de refrigeração, os quais consomem mais energia na planta, dez bombas, dez ventiladores/exaustores e dez motores da área de produção.

Para o cálculo de carregamento utilizou-se o método de medição de corrente apresentado no item 2.3.5. Os motores não possuem variação de carga no eixo, desta forma a medição de corrente instantânea foi o suficiente para caracterizar o carregamento.

Inicialmente, foi medida a corrente dos motores através de alicate amperímetro digital. Com o valor de corrente, calculou-se a rotação de trabalho utilizando a equação 30. Com o valor de rotação foi encontrado o valor do conjugado de trabalho através da equação 26. O valor de conjugado e rotação de trabalho possibilitou calcular a potência de trabalho com a equação 28. Com o resultado da potência de trabalho e utilizando a potência nominal foi possível calcular o fator de carregamento através da equação 29.

3.3.3 Sistema de refrigeração

Para análise do sistema de refrigeração foram feitos dois tipos de abordagens: qualitativa e quantitativa. A qualitativa foi realizada através de uma vistoria do local, analisando, principalmente, o estado dos equipamentos, como compressores, câmaras e condensadores, além da periodicidade de manutenção dos mesmos. A quantitativa envolveu o cálculo de fator de carga dos compressores e também a análise de temperatura dos ambientes, constituindo esses fatores os que mais impactam no desperdício de energia no sistema de refrigeração.

A refrigeração possui um sistema de supervisão onde são monitoradas as temperaturas dos locais e também o funcionamento dos compressores. Através da temperatura monitorada e da temperatura especificada pela portaria 210 do MAPA, conforme tabela 8, foi possível caracterizar esse possível desperdício de energia. Na tabela 8, o termo intimidade muscular significa a temperatura medida no interior do produto a ser refrigerado.

Tabela 8 - Temperatura recomendada para os ambientes

Temperatura normalizada (°C)	Câmara de resfriamento (°C)	Câmara de congelamento (°C)	Túnel de congelamento (°C)	Sala de corte e embalagem (°C)	Sala de tempero (°C)
Intimidade muscular	-1 a 4 (± 1)	-12 (± 2)	-	7	7
Ar	0 a 4 (± 1)	-18	-30	12	12

Fonte: Bueno (2008)

3.3.4 Sistema de ar comprimido

Para verificação do potencial de conservação de energia no sistema de ar comprimido analisou-se a tecnologia empregada e a medição dos vazamentos.

A medição de vazamentos foi realizada pelo método de medição de tempo de carga apresentado no item 2.3.4. Durante o teste, todos os equipamentos de uso final e o compressor com acionamento a inversor permaneceram desligados. Foram medidos os tempos de cinco ciclos de carga e alívio. Após a medição, foi utilizada a equação 25 para mensurar o total de vazão perdida nos vazamentos. O ciclo de alívio ou carga é comandado pelo controlador do compressor onde são pré-ajustados limites de pressão nos quais o sistema opera.

3.3.5 Quadros de distribuição de circuitos

Para verificação de características de conservação de energia em quadros elétricos, fez-se uma inspeção termográfica através de uma câmera marca modelo FLIR-ThermaCAM nos principais quadros. Note-se que essa inspeção fornece dados qualitativos. Através de foto termográfica foi possível identificar a temperatura nos diferentes elementos como barramentos, cabos, disjuntores, contadores, entre outros. Apesar das possíveis perdas de energia serem mínimas nesse sistema, em comparação com os outros, essa análise foi importante para identificar pontos que podem causar danificação de componentes e até incêndio.

Após a medição de temperaturas, elaborou-se uma planilha contendo as sobre temperaturas encontradas e máxima temperatura admissível para os componentes em °C.

3.3.6 Sistemas de iluminação

Nesse módulo foram verificados os níveis de iluminação para os principais ambientes, como área administrativa, área da indústria e algumas dependências. O objetivo foi verificar se os sistemas de iluminação estão adequados com os níveis recomendados, e se estão sendo utilizados de forma correta.

Utilizando-se um luxímetro digital marca TENMARS, verificou-se o nível de iluminação nos diferentes pontos de utilização. Na área administrativa, os principais pontos

foram as mesas de serviço. Na área do frigorífico, os pontos de utilização foram áreas de corte, balança e demais equipamentos. Além dos níveis de iluminação que caracterizam o aspecto de projeto, outras particularidades foram analisadas, como, por exemplo, o comportamento das pessoas frente à conservação de energia em sistemas de iluminação.

É usual que os testes sejam efetuados nas condições mais adversas possíveis. No caso de iluminação, supõe-se efetuar as medidas no horário noturno onde não há contribuição de iluminação natural. O horário normal de trabalho da empresa é diurno. Por esse fato optou-se por se efetuar as medidas no horário diurno para verificar o estado do sistema de iluminação em um dia típico de trabalho, e também observar a contribuição da iluminação natural para o ambiente.

Como base de nível requerido da área administrativa, seguiu-se orientação da ABNT NBR 5413-Iluminação de interiores; para o frigorífico, seguiu-se as orientações da Portaria 210/1998-MAPA; e da ABNT NBR 5413, somente em alguns ambientes.

3.3.7 Qualidade de energia e transformadores

O objetivo desse módulo foi verificar a qualidade de energia nos principais quadros elétricos. A medida do fator k possibilitou também verificar o carregamento máximo recomendado para os transformadores.

Para essa verificação utilizou-se um analisador de energia marca/modelo FLUKE-432. O tempo em que o analisador permaneceu conectado aos quadros foi o suficiente para caracterizar o ciclo da carga. Este tempo variou para cada painel, ficando entre uma e cinco horas. O valor obtido de cada variável foi a média aritmética do total de amostras coletadas.

As principais variáveis de interesse nessa medição foram:

- desequilíbrio de correntes; e
- fator k para dimensionamento de transformadores.

3.4 ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE REDUÇÃO DE PERDAS

O objetivo deste item é quantificar os potenciais de conservação de energia relacionando algumas perdas de alguns módulos temáticos, sendo sistema de refrigeração, análise tarifária, sistema de ar comprimido e acionamentos. Para a análise tarifária foi

simulada uma modificação no contrato de demanda. Para análise do sistema de ar comprimido quantificou-se o total de perdas por vazamento por período e a melhora na admissão de ar por diminuição de temperatura. No módulo acionamentos simulou-se a repotencialização de motores da área de produção. Para o sistema de refrigeração foi analisada a repotencialização de motores em três cenários; sendo o primeiro, a substituição de todos os motores; no segundo cenário foram considerados os motores antigos como forma de pagamento; e finalmente no cenário três foi considerada a relocação de alguns motores e a entrega dos motores antigos como forma de pagamento.

O manual de eficiência energética aneel apresenta um método para viabilizar ações em eficiência energética. Será utilizada essa metodologia com algumas modificações.

Os dois principais termos são energia economizada (EE) e a demanda retirada da ponta (RDP), onde:

$$EE = [(N_1 P_1) - (N_2 P_2)].t.10^{-6} \quad (39)$$

$$RDP = [(N_1 P_1) - (N_2 P_2)].FCP.10^{-6} \quad (40)$$

Os termos P_1 e P_2 se referem às potências antes e depois da ação de eficiência energética. Os termos N_1 e N_2 são a quantidade de equipamentos antes e depois da ação. O termo t é o período de tempo em análise e o fator de coincidência de ponta (FDP) se refere ao percentual de tempo em que as cargas ficam operando em horário de ponta.

O custo total do projeto é determinado em função dos custos totais envolvidos, como equipamentos, projeto e instalação anualizados. As equações 40, 41, 42 e 43 fornecem as etapas para cálculo econômico.

$$CA_{total} = \sum_{i=1}^n CA_{equip_i} \quad (41)$$

$$CA_{equip_i} = CPE_{equip_i} \cdot FRC_i \quad (42)$$

$$CPE_{equip_i} = CE_{equip_i} + \left[(CT - CTE) \cdot \frac{CE_{equip_i}}{CTE} \right] \quad (43)$$

$$FRC = \frac{d(1+d)^{vu}}{(1+d)^{vu} - 1} \quad (44)$$

Onde:

CA_{total} : custo anualizado total do projeto (R\$);

CA_{equip_i} : custo anualizado dos equipamentos com mesma vida útil (R\$);

CPE_{equip_i} : custo dos equipamentos com mesma vida útil acrescido da parcela correspondente aos demais custos (R\$);

CE_{equip_i} : custo somente dos equipamentos com mesma vida útil (R\$);

CT : custo total do projeto (R\$);

CTE : Custo total somente de equipamentos (R\$);

FRC : fator de recuperação de capital;

vu : vida útil do equipamento (anos); e

d : taxa de desconto, aqui considerada como 12 % a.a.

Os custos anualizados de energia e demanda evitados podem ser dados por duas parcelas sendo energia e demanda representados por:

$$BA_D = 12D_p C_{dp} + 12D_{fp} C_{dfp} \quad (45)$$

$$BA_E = 150EE_{pu} C_{pu} + 150EE_{fpu} C_{fpu} + 215EE_{ps} C_{ps} + 215EE_{fps} C_{fps} \quad (46)$$

Onde:

BA_D : benefício anualizado de demanda (R\$);

D_p : demanda evitada na ponta (kW);

C_{dp} : custo da demanda na ponta (R\$/kW);

C_{dfp} : custo da demanda fora de ponta (R\$/kW);

BA_E : benefício anualizado de consumo de energia (R\$);

EE_{pu} : consumo de energia evitado na ponta no período úmido (kWh/dia);

C_{pu} : custo de energia na ponta no período úmido (R\$/kWh);

EE_{fpu} : consumo de energia evitado fora de ponta no período úmido (kWh/dia);

C_{fpu} : custo de energia fora de ponta no período úmido (R\$/kWh);

EE_{ps} : consumo de energia evitado na ponta no período seco (kWh/dia);

C_{ps} : custo de energia na ponta no período seco (R\$/kWh);

EE_{fps} : consumo de energia evitado fora de ponta no período seco (kWh/dia); e

C_{fps} : custo de energia fora de ponta no período seco (R\$/kWh).

O benefício total anualizado BA_{total} é dado pela soma das parcelas de consumo e demanda evitados anualizados:

$$BA_{total} = BA_D + BA_E \quad (47)$$

Finalmente a relação custo benefícios (RCB) é dada pela equação:

$$RCB = \frac{CA_{total}}{BA_{total}} \quad (48)$$

Conforme Blasques *et al.* (2009), o RCB é o principal indicador de viabilidade. Para valores acima de um há uma indicação em não haver viabilidade no projeto e para valores abaixo de um, há uma indicação positiva. Os procedimentos do programa de eficiência energética-PROPEE (ANEEL), recomendam um RCB abaixo de 0,8.

4 RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

4.1 SISTEMAS COM USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA

Uma grande dificuldade encontrada neste estudo de caso foi efetuar a medição de energia elétrica das fronteiras. Somente a produção e a área administrativa possuem circuito exclusivo de alimentação de energia elétrica. O sistema de refrigeração apresenta seis quadros elétricos (localizados na sala de máquinas), fato que dificulta ou até mesmo inviabiliza a medição com um único equipamento. São dois transformadores que alimentam esses quadros. O mesmo ocorre com o sistema de ar comprimido que possui dois quadros elétricos. Para medição dessa fronteira foram necessárias duas medições, em tempos diferentes.

Os valores de potência média dos quadros são apresentados na tabela 9. Verifica-se que a maior parte da demanda está no setor de produção, no sistema de refrigeração e no sistema de ar comprimido.

Tabela 9 - Demanda média medida nos principais quadros elétricos

Quadro	Setor	Potência (kW)
QD 01- Ar.Comp.	Sala de compressores de ar comprimido	69,8
QD-02 Ar. Comp.	Sala de compressores de ar comprimido	57,8
QD-ADM	Administração	27,6
CCM- Produção	Fábrica	254,5
CCM-01	Sala de máquinas	199
CCM-02	Sala de máquinas	42
CCM-03	Sala de máquinas	100
CCM-04	Sala de máquinas	108
CCM-05	Sala de máquinas	297,9
CCM-06	Sala de máquinas	285

A medição de potência não representa a grandeza de consumo de energia, pois muitos equipamentos não operam fora do horário de produção. Para verificação do impacto de consumo, conforme indicador PCT (Índice percentual de consumo total) do item 2.2.4 é apresentada a tabela 10.

Tabela 10 - Consumo de energia elétrica por setores/módulos temáticos

Quadro	Consumo de energia mensal (kWh)	Consumo de energia mensal (%)
Refrigeração	529216	81
Fábrica	72532,5	11,1
Ar comprimido	36366	5,6
Área Administrativa	4857,6	0,7
Outros	10381	1,6
total	653353	100

Na figura 10, pode ser visto o consumo setorial conforme tabela 10

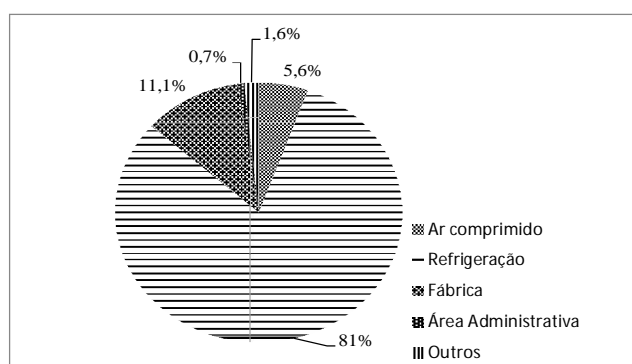


Figura 10 - Consumo de energia setorial em porcentagem

Conforme pode ser observado na figura 10 e tabela 10, os maiores consumos estão na refrigeração, na fábrica e no sistema de ar comprimido. Se for considerado que na fábrica 90% do consumo de energia está no sistema motriz, pode-se afirmar então que do total de onze módulos temáticos estudados na revisão, existem três módulos temáticos, que representam aproximadamente 97% do consumo de energia elétrica da planta, sendo motores, refrigeração e ar comprimido. Esse dado remete à necessidade de priorizar ações em eficiência energética nesses três módulos temáticos.

4.2 LINHAS DE BASE ENERGÉTICA

As linhas de base energética a serem elaboradas são das três principais fontes de energia, sendo a energia elétrica, o óleo diesel e a lenha. A energia elétrica é fornecida pela concessionária local. A lenha é o combustível que alimenta a caldeira e o óleo diesel destina-

se ao grupo de geradores para emergência e horário de ponta. Os dados de produção e consumo de energia para compor as linhas de base podem ser vistos na tabela 11.

Tabela 11 - Consumo das fontes de energia e produção entre os anos de 2011 e 2012

	Consumo total de lenha (m³)	Consumo total de óleo diesel (l)	Consumo total de energia elétrica (kWh)	Produção (ton.)	Linha de base de energia elétrica (kWh/ton)	Linha de base de lenha (m³/ton.)	Linha de base de óleo diesel (l/ton.)
jan/11	134	x	619403	2722	228	0,049	x
fev/11	358	x	677245	2660	255	0,134	x
mar/11	300	x	669340	2727	245	0,110	x
abr/11	320	x	705937	2653	266	0,121	x
mai/11	370	x	609511	2979	205	0,124	x
jun/11	183	x	622067	2652	235	0,069	x
jul/11	200	10102	515681	2923	176	0,068	3,46
ago/11	291	6219	583841	2620	223	0,111	2,37
set/11	287	2807	491152	2699	182	0,106	1,04
out/11	175	4495	504327	2478	204	0,070	1,81
nov/11	314	4957	510817	2774	184	0,113	1,79
dez/11	196	5231	505048	2736	185	0,072	1,91
jan/12	132	7253	602513	2302	262	0,057	3,15
fev/12	447	3524	602738	2261	267	0,197	1,56
mar/12	237	11300	687757	3160	218	0,075	3,58
abr/12	357	6240	671973	3007	223	0,119	2,08
mai/12	316	17012	697434	3118	224	0,101	5,46
jun/12	450	8703	576959	2612	221	0,172	3,33
jul/12	430	11757	656702	2833	232	0,152	4,15
ago/12	200	7980	648220	2881	225	0,069	2,77
set/12	381	7980	660838	2809	235	0,136	2,84
out/12	611	7100	688842	2998	230	0,204	2,37
nov/12	250	4400	804488	3317	243	0,075	1,33
dez/12	413	14720	625485	2797	224	0,148	5,26

A linha de base de energia elétrica pode ser vista na figura 11.

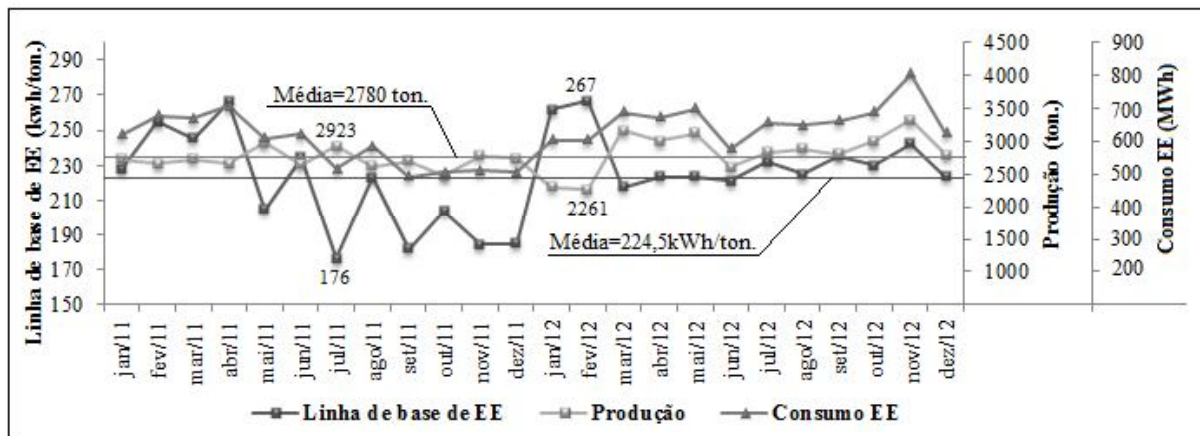


Figura 11 - Linha de Base Energia Elétrica

Nota-se que os valores de consumo de energia elétrica e lenha de base possuem desvios elevados. O maior valor registrado é de 267 kWh/ton., e o menor valor é de 176 kWh/ton. O valor mais baixo corresponde a um dos meses em que houve maior produção, sendo esta de 2.923 toneladas de produto final. O fator de correlação entre o consumo de energia elétrica e produção é de 0,51. Isso indica que há uma dependência forte entre essas variáveis e a otimização do consumo, quando se tem uma quantia elevada de produção. Este fato se deve, principalmente, ao consumo de energia das câmaras frias, pois o consumo de energia não se altera muito com o aumento de produção. Há que se considerar também que outros pesquisadores levantaram a linha de base de consumo de energia para frigoríficos de abate de aves. Bueno (2008), em um diagnóstico energético definiu o consumo específico de 150kWh/ton. Para Zanin *et al.* (2002) o consumo específico foi de 165,2 kWh/ton. Dessa análise podem ser extraídas duas conclusões. A primeira é que há plantas do mesmo segmento com consumo específico inferior; e a outra é que as linhas de base variam conforme a produção.

A empresa estudada possui metas energéticas. Contudo, essas metas não são elaboradas considerando a variação na produção e também não são comparadas a indicadores de eficiência energética de outras plantas.

Na figura 12, podem ser vistas as linhas de base de lenha dos anos de 2011 e 2012.

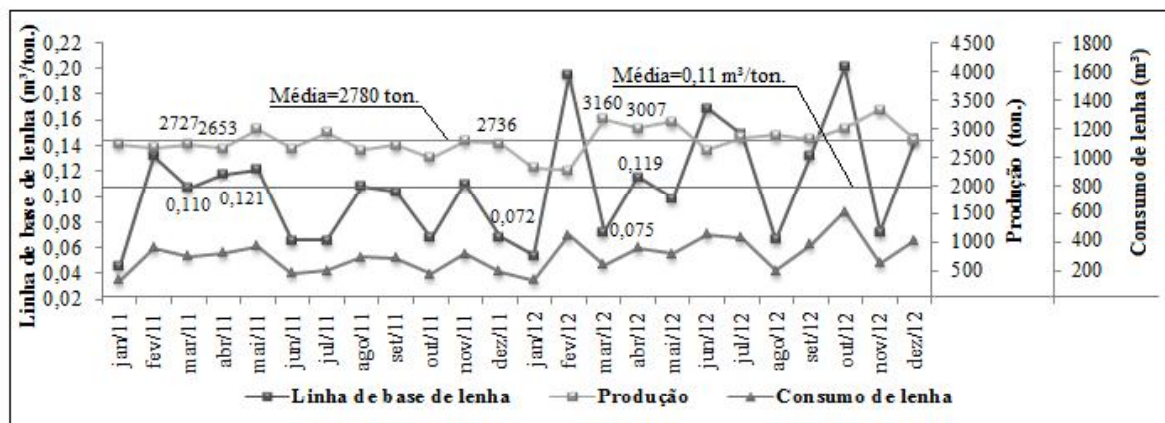


Figura 12 - Linha de Base de Lenha

Conforme se observa na figura 12, há um desvio elevado entre os valores da linha de base e a média. O fator de correlação entre o consumo de lenha e produção é igual a 0,11

indicando pequena relação entre as variáveis. Segue como exemplo a produção dos meses de março e dezembro de 2011 que é de 2.727 e 2.736 toneladas, respectivamente. Apesar de possuírem produção bem próxima, seus valores base são bem diferentes, a saber, 0,11 e 0,072 m³/ton., respectivamente. Em março de 2012 a produção foi maior do que no mesmo período do ano anterior, assim como o valor base fora menor. E no mês de abril de 2012 a produção foi maior do que em abril de 2011 e o valor base, no entanto, foi maior. Verifica-se assim que não há uma correlação entre produção e consumo de lenha. Fato esse passível de uma ação de controle energético para esse setor.

Na figura 13 pode ser verificada a linha de base de consumo de óleo diesel. O fator de correlação calculado foi de 0,37. Assim como a linha de base de lenha, esse indicador não mostrou ter forte correlação com a produção. Houve meses em que um aumento na produção provocou uma diminuição do valor da linha de base. Em outros meses, no entanto, observou-se que um aumento na produção proporcionou um aumento do valor da linha de base.

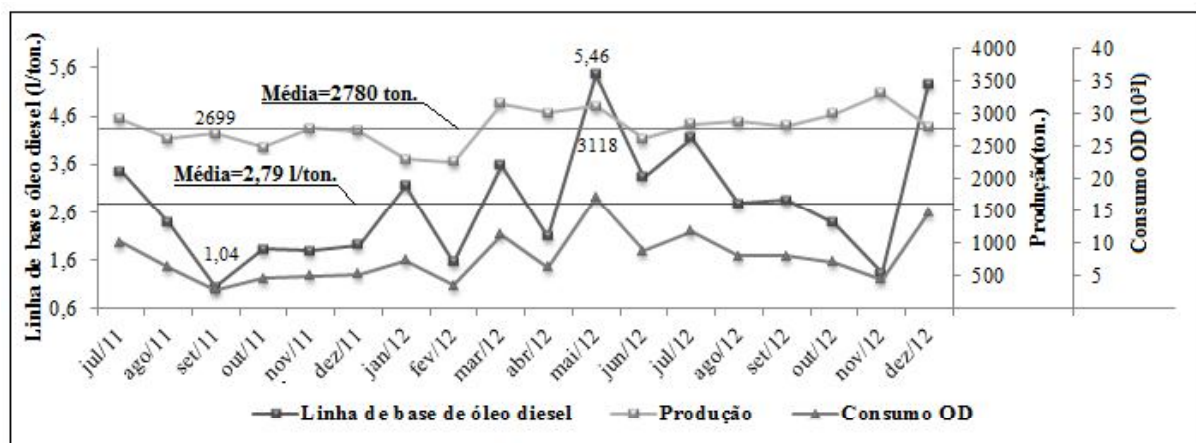


Figura 13 - Linha de Base de Óleo Diesel

4.3 MÓDULOS TEMÁTICOS

4.3.1 Análise tarifária

Os dados do contrato de energia e demais variáveis, como preço de demanda e energia no período de análise podem ser vistos no quadro 4. Pelo quadro, observa-se a

diferença entre os custos de energia na ponta e fora de ponta, assim como os custos de demanda e ultrapassagem de demanda. Com esses dados ressalta-se conforme item 2.3.1 a importância de evitar consumo na ponta e ultrapassagem de demanda.

DESCRIÇÃO	MODELO
Concessionária	Copel
Subgrupo de tensão	Grupo A4-De 2,3 a 25kV
Tipo de tarifação	Horo-Sazonal verde
Demanda Contratada (kW)	1550kW
Tarifa de Consumo Ponta Seca (R\$/MWh)	1032,91
Tarifa de Consumo Ponta Úmida (R\$/MWh)	1012,03
Tarifa de Consumo Fora de Ponta Seca (R\$/MWh)	133,51
Tarifa de Consumo Fora de Ponta Úmida (R\$/MWh)	145,62
Tarifa de Demanda (R\$/kW)	9,04
Tarifa de Ultrapassagem (R\$/kW)	27,12
ICMS+PIS/COFINS	65%

Quadro 4 - Dados referentes a contrato de energia.

Na tabela 12 podem ser verificados os valores de demanda, consumo, fator de carga de alguns meses e o total gasto em energia em todos os meses.

Tabela 12 - Dados de contas de energia entre os meses de janeiro a dezembro de 2011

Ano	Mês	Consumo na ponta (kWh)	Consumo fora de ponta (kWh)	Demanda (kW)	Fator de Carga Geral (%)	Total da Fatura (R\$)
2011	Janeiro	11093	608310	1439	59	158.866,36
2011	Fevereiro	26059	651186	1554	60	190.433,21
2011	Março	27388	641952	1542	59	190.384,84
2011	Abril	21433	684504	1493	65	190.118,24
2011	Mai	1147	608364	1503	X	155.485,80
2011	Junho	1414	620653	1453	X	158.534,09
2011	Julho	1898	513783	1341	X	136.326,74
2011	Agosto	1000	582841	1343	X	152.940,09
2011	Setembro	977	490175	1440	X	133.952,43
2011	Outubro	894	503433	1451	X	136.672,22
2011	Novembro	934	509883	1432	X	138.115,54
2011	Dezembro	1376	503672	1557	X	128.852,60

Percebe-se na tabela 12, que nos meses de fevereiro e dezembro houve ultrapassagem na demanda já que a contratada era de 1550 kW. Essas ultrapassagens foram pequenas e não representam um custo significativo. Nos demais meses as demandas estiveram abaixo da contratada. Todos os registros de fator de carga estão acima do recomendado. Segundo manual técnico de orientação CELESC, um fator de carga típico para abate de aves é 56,19. O consumo de energia na ponta para os meses de janeiro a abril está bem acima da média. A partir do mês de maio, a equipe de manutenção efetuou uma mudança de operação nos compressores de refrigeração. No horário de ponta alguns motores foram desligados sem comprometer a faixa de temperatura de operação recomendada, com isso conseguiu-se diminuir consideravelmente o consumo de energia nesse horário. Apesar de não constar na tabela, os gastos com consumo de energia reativa, em todos os meses, foram irrisórios.

Em resumo, a análise tarifária indica curva de carga e fator de potência em acordo com o recomendado. No item 4.5 será efetuada uma simulação da melhor demanda a ser contratada visando economia.

4.3.2 Acionamentos, bombas de fluxo e ventiladores

A seguir são apresentados os dados coletados dos motores. Conforme comentado na metodologia, o principal objetivo desse item foi calcular o fator de carregamento.

a) Sala de máquinas

A sala de máquinas possui dez compressores para atender ao sistema de refrigeração. Esses motores são os responsáveis pelo maior consumo de energia elétrica na planta. Na tabela 13 podem ser vistos os dados de placa de cada motor, assim como a valor de corrente medida, bem como o fator de carregamento calculado. O motor 07 estava em manutenção, não sendo possível efetuar sua medição.

Conforme a tabela 13, note-se que, exceto o compressor 05 que está com fator de carregamento em 88% e os compressores 8 e 9 que estão com fatores de carregamento próximos ao mínimo recomendado, os demais estão operando abaixo do fator de carregamento recomendado que é entre 75% e 100%.

Tabela 13 - Dados de placa e medição de corrente dos motores dos compressores da sala de máquinas

Máquina	Potência (kW/cv)	Rotação (rpm)	Número de polos	Tensão (V)	Corrente Nominal (A)	Corrente medida (A)	Fator de Carregamento
Comp. 01	260/350	3570	2	380/660	445/256	320	0,66
Comp. 02	75/100	1780	4	380/660	144/83	92	0,46
Comp. 03	55/75	1770	4	220/380	175/101	78	0,65
Comp. 04	55/76	1770	4	220/380	175/101	81	0,7
Comp. 05	75/100	1780	4	380/660	144/83	132	0,88
Comp. 06	37/50	1770	4	220/380	123/71,2	57	0,68
Comp. 07	x/20	1760	4	220/380	50/28,9	x	x
Comp. 08	x/75	1770	4	380/660	111/63	84	0,74
Comp. 09	300/400	3570	2	380	585	456	0,74
Comp. 10	300/400	3565	2	380/660	565	402	0,66

b) Bombas

Os dados de placa e medição de corrente para as bombas podem ser examinados na tabela 14.

Tabela 14 - Dados de placa e medição de corrente das bombas

Máquina	Potência (KW/cv)	Rotação (rpm)	Número de polos	Tensão (V)	Corrente Nominal (A)	Corrente medida (A)	Fator de Carregamento (%)
Bomba 01	37/50	3555	2	220/380	121/70,3	29,8	0,18
Bomba 02	2,2/3	3440	2	220/380/440	8,08/4,68/4,04	4,48	0,92
Bomba 03	2,2/3	3440	2	220/380/440	8,08/4,68/4,04	4,75	1,03
Bomba 04	7,5/10	3530	2	220/380/440	25,4/14,7/12,7	12,9	0,8
Bomba 05	3,7/5	3500	2	220/380	12,8/7,39	3,19	-0,05
Bomba 06	15/20	3540	2	220/380/440	49,8/28,8/24,9	21,2	0,59
Bomba 07	15/20	3540	2	220/380/440	49,8/28,8/24,9	29,7	1,05
Bomba 08	15/20	3540	2	220/380/440	49,8/28,8/24,9	21,2	0,59
Bomba 09	22/30	1175	4	220/380/441	74,4/44,1/32,2	40,2	0,84
Bomba 10	7,5/10	1760	4	220/380	26,4/15,3	9,25	0,21

Pela tabela 14 pode ser visto que as bombas 03 e 07 estão operando com carga um pouco acima da nominal. As bombas 02, 04 e 09 estão operando na faixa recomendada. As demais bombas estão operando fora dessa faixa. O fator de carregamento da bomba 05 aparece com um valor negativo porque a corrente medida é menor do que a corrente a vazio. Há duas maneiras de se obter a corrente a vazio, ou através de catálogo do fabricante, ou utilizando a equação 31. Essa equação por vezes pode fornecer uma corrente a vazio um

pouco menor do que a real, pois há casos em que corrente medida é menor do que essa corrente a vazio obtida por cálculo. Dessa maneira o fator de carregamento será negativo. Isso na prática indica que o motor está operando praticamente a vazio.

c) Motores da área da produção

Os dados de placa e medição de corrente para os motores da área de produção podem ser observados na tabela 15.

Tabela 15 - Dados de placa e medição de corrente dos motores da área de produção

Máquina	Potência (KW/cv)	Rotação (rpm)	Número de polos	Tensão (V)	Corrente Nominal (A)	Corrente medida (A)	Carregamento (%)
Motor 01	4/x	1720	4	380/660	8,6/4,95	2,73	-0,55
Motor 02	4/x	1720	4	380/660	8,6/4,95	3,24	-0,4
Motor 03	4/x	1720	4	380/660	8,6/4,95	2,85	-0,51
Motor 04	1,1/1,5	1720	4	220/380	4,43/2,56	0,82	-0,99
Motor 05	1,1/1,5	3415	2	220/380	4,14/2,40	1,42	0,12
Motor 06	5,5/7,5	3495	2	x	18,8/10,9	9,9	0,84
Motor 07	3,0/4,0	1725	4	220/380	11,9/6,89	4,87	0,33
Motor 08	3,0/4,0	1725	4	220/380	11,9/6,89	4,42	0,17
Motor 09	4,5/6,0	3465	2	220/380	15,8/9,15	6,63	0,51
Motor 10	5,5/7,5	3495	2	220/380	18,8/10,9	8,3	0,59

Pela tabela 15 pode se perceber que, exceto o motor 06, todos os demais estão operando com fator de carregamento abaixo do recomendado. Nota-se novamente que alguns motores estão com fator de carregamento negativo, indicando operação praticamente sem carga.

d) Ventiladores e Exaustores

Na tabela 9 são mostrados os dados de placa e as medições efetuadas em dez ventiladores e exaustores. Pode ser verificado que, com exceção do ventilador Sangria 07 e Exaustor Sangria 08, os demais motores estão operando com baixo fator de carregamento. Novamente pode ser observado fator de carregamento negativo, indicando operação praticamente sem carga no eixo.

Tabela 16 - Dados de ventiladores e medição de corrente dos exaustores e ventiladores

	Potência (KW/cv)	Rotação (rpm)	Número de polos	Tensão (V)	Corrente Nominal (A)	Corrente medida (A)	Fator de carregamento
Ventilador Evisceração 01	5,5/7,5	1740	4	380	12,1	4,42	-0,35
Ventilador Evisceração 02	5,5/7,5	1740	4	380	12,1	5,42	-0,17
Exaustor Evisceração 03	5,5/7,5	1740	4	380	12,1	6,42	0,01
Exaustor Evisceração 04	5,5/7,5	1740	4	380	12,1	7,42	0,19
Exaustor Escaldagem 05	5,5/7,5	1740	4	380	12,1	8,42	0,37
Ventilador Escaldagem 06	5,5/7,5	1740	4	380	12,1	9,42	0,54
Ventilador Sangria 07	4,5/6,0	1735	4	380	9,8	10,42	1,13
Exaustor Sangria 08	4,5/6,0	1735	4	380	9,8	11,42	1,34
Ventilador Pendura 09	3,0/4,0	1150	6	380	6,9	12,42	-0,15
Exaustor Pendura 11	9,2/12,5	1760	4	380	20,2	13,42	0,35

4.3.3 Sistemas de refrigeração

Na planta, onde foi feito o estudo de caso, há dois tipos de sistemas de refrigeração: os aparelhos para área administrativa e áreas de apoio, como também a refrigeração do frigorífico.

a) Refrigeração industrial.

O sistema de refrigeração do frigorífico é, dentre os existentes na planta, o que mais consome energia elétrica. Os dados quantitativos que mais caracterizam a eficiência energética desse sistema estão relacionados ao tipo de acionamento e ao coeficiente de performance (COP).

O fator de carga de nove compressores foi calculado, e percebeu-se que a maior parte está em desconformidade com o recomendado. O COP é um indicador muito importante no sistema de refrigeração, já que permite quantificar a eficiência da compressão. Para seu cálculo, contudo, é necessária a medição de temperatura e pressão na sucção e descarga do compressor, vazão mássica e potência do compressor e seus equipamentos auxiliares, porém não foi possível calcular esse indicador. É possível monitorar instantaneamente a temperatura e pressão na sucção e descarga de cada compressor através do sistema supervisor. Mas não é possível ter acesso à vazão mássica do fluido refrigerante e à potência instantânea de cada compressor e seus equipamentos auxiliares, devido a natureza da instalação.

Algumas análises qualitativas foram feitas para visualizar potenciais de conservação desse módulo, como descrito na sequência.

- Temperatura dos ambientes

Cada ambiente do frigorífico possui uma faixa de temperaturas admissíveis, as quais são regulamentadas pela Portaria 210 MAPA, conforme tabela 8. Manter uma temperatura muito abaixo do recomendado faz com que os compressores tenham de trabalhar mais tempo e assim consumir mais energia. Nesse sentido, foi verificado que as temperaturas estão sendo adequadas conforme a portaria.

- Limpeza de evaporadores

Verificou-se que não é realizada uma manutenção preventiva, como limpeza, para evitar formação de gelo nos evaporadores.

- Controle de iluminação

Algumas câmaras não possuem sistema automático para acionamento de iluminação. Este fato acarreta um consumo desnecessário de energia elétrica.

- Condensadores

Constatou-se que vários condensadores estão com colarinhos danificados e sujos. Conforme item 2.3.2.1, os colarinhos são de vital importância para direcionar o ar para a troca térmica com o fluido refrigerante.

- Isolação

Algumas portas das câmaras apresentam a isolamento térmica comprometida; problema que pode ser inerente à própria isolamento ou fixação mecânica de portas e aberturas. Esta abertura indesejada possibilita uma perda térmica além do esperado.

b) Área administrativa e áreas de apoio

O sistema de refrigeração da área administrativa e demais áreas de apoio é composto por máquinas do tipo *split*. Apesar do consumo baixo em relação ao total detectado em toda a planta, é importante comentar algumas características levantadas.

- Não há recomendações de utilização do equipamento quanto à temperatura ideal, nem em relação aos cuidados, como evitar deixar portas e janelas abertas.
- Também não há um plano de manutenção preventiva, como limpeza de filtros.

4.3.4 Sistema de ar comprimido

a) Vazamentos.

O sistema de ar comprimido conta com dois compressores a parafuso, sendo um com acionamento direto estrela-triângulo, potência nominal de 75cv, vazão de 566,56 m³/h; e outro com acionamento a inversor de frequência, potência nominal de 75 cv e vazão de 85,76 a 621,33 m³/h. As medições dos tempos de carga e alívio foram feitas com o compressor com chave de acionamento do inversor desligada. Isso porque sua vazão varia conforme a solicitação de carga e para esse tipo de teste é necessário haver uma vazão constante, a qual, no presente caso, é fornecida pelo compressor com acionamento a estrela-triângulo.

Na tabela 17 podem ser verificados os tempos de carga e alívio para o compressor.

Tabela 17- Ciclos de cargas e descargas para medição de vazamento

Ciclo	Tempo em alívio	Tempo em carga
1	49,33	11,94
2	50,06	13,87
3	50,75	12,42
4	50,55	12,47
5	50,12	12,87

Utilizando a equação 25 tem-se que:

$$Vazão\ perdida = 114,56\ m^3/h \quad (49)$$

$$Vazão\ perdida(\%) = \frac{114,56}{566,56} \cdot 100 = 20\% \quad (50)$$

Através do cálculo, verificou-se que 20% do total de produção de ar comprimido atende aos vazamentos. Essa porcentagem está bem acima da recomendada, que é de 5%.

b) Características qualitativas.

Além dos testes de vazamentos, foram analisadas algumas questões qualitativas que influenciam no desperdício de energia em sistemas de ar comprimido. Tais questões envolvem, principalmente, a temperatura de admissão e a limpeza de filtros. As manutenções preventivas são seguidas periodicamente pela equipe responsável. Esta intervenção garante que haja uma verificação nos estados dos filtros e também do óleo lubrificante.

Constatou-se que o ar de admissão está sujeito à influência do ar de rejeito dos compressores. Tal influência se deve, principalmente, à estrutura da sala onde estão alocadas

as máquinas. Esta condição faz com que haja aumento no consumo de energia dos compressores.

4.3.5 Quadros de distribuição de circuitos

Através da inspeção termográfica foi possível identificar várias sobre temperaturas nos quadros. Os dados de temperaturas medidas como máximas temperaturas admissíveis por componente podem ser vistos na tabela 18. Nota-se que há vários componentes com sobretemperatura. Nos componentes com medição nas três fases, as duas possíveis causas de diferença nas temperaturas são desequilíbrio de corrente ou má conexão. Importante ressaltar ainda que a maior parte dos problemas encontrados na verificação de sobretemperaturas está nas conexões. Há necessidade de que a equipe de manutenção realize reaperto das conexões de todos os componentes.

**Tabela 18 - Temperaturas registradas na inspeção termográfica
(continua)**

Item	Componente	Temperatura fase A (°C)	Temperatura fase B (°C)	Temperatura fase C (°C)	Temperatura máxima medida (°C)	MTA (°C)
1	Chave-fusível	31,7	32,1	41	41	100
2	Grupo de disjuntores	x	x	x	87,8	70
3	Grupo de disjuntores	x	x	x	81,4	70
4	Disjuntor	50,2	40,1	39,8	x	70
5	Grupo de disjuntores	x	x	x	75,4	70
6	Grupo de disjuntores	x	x	x	81,7	70
7	Grupo de disjuntores	x	x	x	82,6	70
8	Grupo de disjuntores	x	x	x	79,8	70
9	Cabo	x	x	x	100,9	70
10	Cabo	x	x	x	85,7	70
11	Cabo	x	x	x	76,4	70
12	Conexão disjuntor	x	x	x	95,8	70
13	Cabo	x	x	x	73,6	70
14	Disjuntor	x	x	x	84,6	70
15	Cabo	x	x	x	72,5	70
16	Chave seccionadora média tensão	94	45,9	69,5	x	50

**Tabela 19 - Temperaturas registradas na inspeção termográfica
(conclusão)**

Item	Componente	Temperatura fase A (°C)	Temperatura fase B (°C)	Temperatura fase C (°C)	Temperatura máxima medida (°C)	MTA (°C)
17	Chave seccionadora média tensão	130	56	69,5	x	50
18	Conexão barramento	81	81,4	67,6	x	70
19	Conexão barramento	76	74,7	66,2	x	70
20	Conexão no disjuntor	59	57,3	78,6	x	70
21	Cabo (conexão)	x	x	x	74,3	70
22	Conexão no disjuntor	56	54,5	67,6	x	70
23	Conexão barramento	76	88,5	88,2	x	70
24	Barramento	76	89	88,7	x	70
25	Conexão barramento	63	67,5	64,4	x	70

4.3.6 Qualidade de energia e transformadores

Na tabela 19 podem ser vistas as variáveis medidas em diversos painéis, dentre eles os quadros gerais de baixa tensão (QGBT's) dos transformadores.

**Tabela 20 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição
(continua)**

	QD 01 Ar comp.	QD 02 Ar comp.	QGBT 01	QGBT 02	QD Administração	CCM Produção
Tensão média L1(Volts)	207,84	214,19	209,1	212	209,71	209,03
Tensão média L2(Volts)	210	213,1	212	214,47	211,98	210,78
Tensão média L3(Volts)	210,67	211,8	211,5	213,16	211,29	210,64
Corrente média L1(Amperes)	114	102,3	1372	1184	44,76	515,55
Corrente média L2(Amperes)	127,7	105,3	1392,84	1245	50,6	556
Corrente média L3(Amperes)	126,7	99,8	1393,86	1261	47,2	520,12
Potência Ativa média (kW)	69,8	57,68	832	734	27,6	254,5
Fator de Potência médio	0,9	0,86	0,94	0,93	0,92	0,76
DPF	0,98	0,88	0,97	0,93	0,93	0,76
THD V L1(%)	2,72	1,71	2,63	1,38	2,75	2,37
THD V L2(%)	2,99	1,64	2,6	1,45	2,92	2,35

Tabela 21 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição

(conclusão)

	QD 01 Ar comp.	QD 02 Ar comp.	QGBT 01	QGBT 02	QD Administração	CCM Produção
THD V L3(%)	2,72	1,69	2,67	1,38	3,09	2,41
THD V N(%)	57	61,8	167,2	62,68	286,96	41,51
THD A L1(%)	45	2,76	8,92	1,59	12,98	4,27
THD A L2(%)	38	2,52	9,86	1,51	18,4	4,42
THD A L3(%)	41	2,9	9,29	1,68	12,94	3,86
THD A N(%)	-	-	244,37	78	265,44	35
Fator KA V L1	0	0	0	0	0	0
Fator KA V L2	0	0	0	0	0	0
Fator KA V L3	0	0	0	0	0	0
Fator KA V N	0	0	0	0	0	0
Fator KA A L1	10,98	1,03	1,2	1,01	1,2	1,13
Fator KA A L2	7,83	1,03	1,25	1,01	1,4	1,15
Fator KA A L3	9,11	1,03	1,22	1,01	1,2	1,12
Fator KA A N	19,34	11,49	10,05	9,02	8,98	12,62

Conforme pode ser visto na tabela 19, os maiores desbalanceamentos de correntes estão no QGBT-02 e no CCM-Produção. Existe a possibilidade de uma relocação de cargas para equilibrar o sistema. O fator k do QGBT-02 é baixo, próximo à unidade. Já o QGBT-01 apresenta um fator k de 1,25 na fase L2. Isso faz com que o transformador perca 25% do total da capacidade nominal. Ou seja, como sua potencia nominal é de 1000 kVA deverá ser imposta uma carga máxima de 750kVA para que não haja perdas excessivas por harmônicas.

Na tabela 20 estão listadas as variáveis medidas nos quadros da sala de máquinas.

Tabela 22 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição
(continua)

	CCM 01 Sala de Máquinas	CCM 02 Sala de Máquinas	CCM 03 Sala de Máquinas	CCM 04 Sala de Máquinas	CCM 05 Sala de Máquinas	CCM 06 Sala de Máquinas
Tensão média L1(Volts)	209,15	210,01	210,3	210,11	209,6	210,83
Tensão média L2(Volts)	211,8	212,3	209,49	212,21	211,97	212,88
Tensão média L3(Volts)	211,34	212,16	206,96	211,01	210,15	211,47
Corrente média L1(Amperes)	386,75	79,24	206,94	181,05	578,06	503,22
Corrente média L2(Amperes)	397,89	82,2	207,76	188,88	621,43	525,03
Corrente média L3(Amperes)	398,04	82,16	198,23	188,89	608,57	508,55
Potência Ativa média (kW)	199	42	100	108	297,9	285

Tabela 23 - Variáveis coletadas com analisador de energia nos quadros de distribuição

(conclusão)

	CCM 01 Sala de Máquinas	CCM 02 Sala de Máquinas	CCM 03 Sala de Máquinas	CCM 04 Sala de Máquinas	CCM 05 Sala de Máquinas	CCM 06 Sala de Máquinas
Fator de Potência médio	0,8	0,8	0,78	0,91	0,78	0,87
DPF	0,8	0,82	0,78	0,92	0,78	0,88
THD V L1(%)	2,32	2,32	2,05	2,16	1,78	1,96
THD V L2(%)	2,21	2,22	2,22	2,22	1,81	2,04
THD V L3(%)	2,34	2,38	2,18	2,11	1,77	2
THD V N(%)	64,71	60,24	60,15	57,82	23,39	46,18
THD A L2(%)	3,56	2,79	2,38	11,33	3,35	2,87
THD A L3(%)	3,21	2,74	2,82	11,12	3,28	2,78
THD A N(%)	12,03	51,1	65	52,84	10,27	42,75
Fator KA V L1	0	0	0	0	0	0
Fator KA V L2	0	0	0	0	0	0
Fator KA V L3	0	0	0	0	0	0
Fator KA V N	0	0	0	0	0	0
Fator KA A L1	1,04	1,04	1,02	2,67	1,05	1,03
Fator KA A L2	1,04	1,04	1,02	2,67	1,04	1,03
Fator KA A L3	1,03	1,04	1,02	2,5	1,04	1,03
Fator KA A N	2,26	16,45	9,51	16,67	1,41	14,95

Pode ser verificado na tabela 20 que, com exceção dos CCM-05 e CCM-06, há um bom balanceamento de corrente nas fases. A taxa de distorção harmônica do CCM-04 é alta. Isso, no entanto não afeta a qualidade de tensão dos outros ramais.

4.3.7 Sistemas de iluminação

a) Áreas Administrativas

Observou-se que em vários pontos há iluminação menor do que o recomendado pela norma conforme pode ser confirmado nos anexos 1 e 2. Já em outros pontos há uma iluminação acima do recomendado. Uma medida útil seria utilizar mais a iluminação natural para contribuir com a iluminação do ambiente. Porém, torna-se importante lembrar que a iluminação natural também aquece o ambiente. Assim, para diminuir o aquecimento, dependendo do caso, é viável a utilização de películas para redução dos raios infravermelhos. Dessa forma tem-se uma contribuição de iluminação e proteção contra aquecimento.

Quanto à questão operacional, foi verificado que algumas luzes permanecem acesas sem necessidade. Em muitas salas existem vários colaboradores e às vezes nem todos se encontram no recinto. Em uma visita, constatou-se também a existência de luzes acesas no refeitório, durante o dia, sem expediente.

Desligar algumas lâmpadas é possível, quando o tipo de acionamento (vários circuitos) possibilita tal procedimento. Quanto à questão tecnológica, verificou-se a coerência nos projetos. Na área administrativa as lâmpadas são fluorescentes tubulares T8, as quais possuem um bom rendimento e também uma boa vida útil, a um preço compatível. As luminárias são duas, do tipo lâmpadas florescentes 40W, com refletores em alumínio anodizado, com difusores para evitarem ofuscamentos. Já os reatores para reposição, no almoxarifado, são especificados para alto rendimento e alto fator de potência, fato este coerente com a política de conservação de energia.

b) Frigorífico

Novamente verificou-se que em alguns lugares há um nível de iluminação bem acima do recomendado, e em outros há um nível abaixo, conforme anexo 3. O tipo de ambiente não permite contribuição de luz natural (Norma MAPA), enquanto a luminária é adequada ao ambiente. Percebeu-se que em muitos ambientes permanece a iluminação sem que haja a presença de pessoas, fato este que compromete a conservação de energia. Em uma visita à empresa, em um fim de semana, com a fábrica não funcionando, puderam ser vistas várias luminárias ligadas, as quais consomem uma energia desnecessária.

4.4 ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE REDUÇÃO DE PERDAS

Um trabalho envolvendo auditoria energética seria incompleto se não houvesse um estudo de perdas e alternativas de investimento para ações em eficiência energética. A auditoria energética efetuada no frigorífico demonstrou, em números, os potenciais de conservação de energia. Algumas possíveis ações em eficiência energética podem ser divididas em ações de pequeno, médio e grande impactos. Muitas delas são referentes à manutenção preventiva e à ação comportamental dos colaboradores frente a um programa de conservação. Alguns ganhos de conservação não podem ser mensurados, já outros podem.

Nessa seção será quantificado o ganho em eficiência de alguns módulos temáticos, os quais têm maiores impactos na economia, sendo sistemas de refrigeração, análise tarifária, sistema de ar comprimido e acionamentos.

4.4.1 Sistemas de refrigeração

O sistema de refrigeração é responsável por aproximadamente 81% do consumo de energia do frigorífico. Qualquer aumento de eficiência no funcionamento desse sistema provocará um grande impacto no total de energia elétrica consumida. Foram encontradas algumas anomalias na auditoria energética, como “frestas” nas câmeras frias, condensadores com colarinhos danificados, acionamentos de iluminação não automáticos, entre outros. Não há dúvida de que uma intervenção é importante para conservação de energia. O que mais impacta nesse sistema, no entanto são os compressores. Será feita uma análise para a substituição dos motores dos compressores, considerando-se a repotencialização, segundo o fator de carregamento encontrado nas medições.

Na tabela 21 pode ser vista a potência dos antigos e dos novos motores e também a economia média de consumo esperada para cada caso.

Tabela 24 - Simulação de repotencialização dos motores dos compressores

Compressor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potência motor antigo (kW)	260	75	55	55	75	37	15	55	300	300
Fator de carregamento motor antigo (%)	0,67	0,46	0,65	0,70	0,88	0,68	0,70	0,74	0,74	0,66
Carga no eixo motor antigo	173,10	34,79	35,90	38,40	65,76	25,20	10,50	40,90	222,18	198,22
Potência motor novo (kW)	185,0	37,0	37,0	45,0	75,0	30,0	11,0	45,0	260,0	220,0
Fator de carregamento motor novo (%)	0,94	0,94	0,97	0,85	0,88	0,84	0,95	0,91	0,85	0,90
Corrente motor antigo (A)	320,00	92,00	78,00	81,00	132,00	57,00	25,00	84,00	456,00	402,00
Corrente motor novo (A)	310,00	67,00	70,00	74,00	128,00	50,00	21,50	76,00	380,00	355,00
Rendimento motor antigo (%)	93,7	93,0	91,9	91,9	93,0	91,0	89,8	91,0	93,8	95,4
Rendimento motor novo (%)	96,0	94,3	94,1	94,1	94,3	93,0	90,8	95,1	95,9	95,9
Horas de operação/dia	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Dias de operação/ano	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Potência média motor antigo (kW)	194	56	47	49	80	35	15	51	276	243
Potência média motor novo (kW)	188	41	42	45	78	30	13	46	230	215
Consumo médio diário motor antigo (kWh)	3488	1003	850	883	1439	621	272	916	4970	4382
Consumo médio diário motor novo (kWh)	3379	730	763	807	1395	545	234	828	4142	3869
Consumo médio anual motor antigo (MWh)	1256	361	306	318	518	224	98	330	1789	1577
Consumo médio anual motor novo (MWh)	1216	263	275	290	502	196	84	298	1491	1393
Economia anual (MWh)	39,24	98,10	31,39	27,47	15,70	27,47	13,73	31,39	298,21	184,42

Conforme pode ser observado na tabela 21 espera-se uma economia considerável com a substituição dos motores. A economia mais significativa ocorreu nos motores de maiores potências, e também onde houve uma maior diminuição de potência nominal a ser instalada.

Na tabela 22 destaca-se o comparativo de substituição de motores dos três cenários, conforme especificado na metodologia. Nos cenários dois e três, os motores antigos foram entregues com um valor de 10% dos motores novos. Ainda, no cenário três foi considerada a relocação de três motores para a utilização, sendo eles os motores 3, 5 e 9. Em todos os cenários considerou-se uma tarifação de R\$ 0,22/kWh para o consumo e R\$ 8,25/kW para a demanda (Resolução 1565 ANEEL, de 9 de julho de 2013) e calculou-se uma economia anual de energia e demanda de R\$187.445,00 . Com o valor total considerando a economia, o custo de equipamentos, a mão de obra e os acessórios, além de uma vida útil de dez anos e uma taxa de desconto de 12% a.a e utilizando as equações 40 a 46 chegou-se aos valores da relação custo benefício conforme tabela 22.

Tabela 25 - Custo para repotencialização dos motores dos compressores

Custos (R\$)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
motor compressor 1	39934	35941	35941
motor compressor 2	6560	5904	5904
motor compressor 3	6560	5904	0
motor compressor 4	10086	9077,4	9077
motor compressor 5	11480	10332	0
motor compressor 6	3444	3099,6	3099,6
motor compressor 7	1968	1771,2	1771,2
motor compressor 8	10000	9000	9000
motor compressor 9	57400	51660	0
motor compressor 10	53300	47970	47970
Custo instalação (Quadros +acessório+ mão de obra)	150000	150000	10000
Economia total em energia (Demanda+ consumo)	187445	187445	187445
RCB	0,14	0,13	0,08

Nota-se que em todos os casos a repotencialização mostrou-se viável, já que no pior caso a RCB foi igual 0,14, distante do máximo valor recomendado pela ANEEL em projetos de eficiência energética, que é igual a 0,8.

Outras características devem ser ressaltadas, listando-se abaixo as principais.

- Há linhas de crédito especiais para financiamento em projetos de eficiência energética.

- Além de economizar energia, novos motores requerem menos manutenção.

- Além de retorno rápido de investimento, retira-se aproximadamente 120 kW de potência na ponta e isso acarreta uma diminuição da demanda a ser contratada.

4.4.2 Análise tarifária

Para a análise tarifária foi feita uma simulação com os dados de demanda registrados nas contas de energia de 2011. Verificou-se que com uma demanda contratada de 1490 kW, naquele ano, teria sido economizado o equivalente a R\$ 10.000,00. Para contratos futuros de demanda será imprescindível que se verifiquem possíveis aumentos ou diminuições de carga para não haver multas por ultrapassagem ou dispêndio econômico.

Além da demanda, outro ponto que pode ser melhorado é o fator de carga. Para obter um melhor fator de carga existem três maneiras possíveis, segundo Santos *et al.* (2006):

- aumentar as horas trabalhadas;
- otimizar a demanda de potência, conservando o mesmo nível de consumo; e
- atuar simultaneamente nos dois parâmetros acima citados.

4.4.3 Sistema de ar comprimido

A análise do sistema de ar comprimido trouxe dois indicadores importantes: as perdas por vazamentos e ganho por diferença de temperatura na admissão de ar. A seguir serão tratados cada um deles.

4.4.3.1 Vazão perdida

Conforme visto o item 4.3.4, atualmente, o sistema de ar comprimido possui uma vazão perdida de 20%, ou seja, do total de energia gasta com esse sistema, essa porcentagem é para atender a vazamentos. O consumo médio mensal de energia é de aproximadamente 36000kWh. Fazendo uma tarifação de R\$0,23 o kWh e tendo uma margem máxima de 5% de

vazamentos, está havendo um gasto anual desnecessário em torno de R\$ 15.000,00 no sistema de ar comprimido.

4.4.3.2 Diferença de temperatura na admissão

As temperaturas interna e externa da edificação do sistema de ar comprimido variam muito com as horas do dia, bem como com as estações do ano. Utilizando uma temperatura média anual de 20°C para a região sudoeste do Paraná (Instituto Agrônômico do Paraná), com uma diferença para 24°C para a admissão, e utilizando a equação 23, obtém-se uma melhora de aproximadamente 1,36%. Com base na tarifa do item anterior, a economia anual para uma diminuição de 4°C na admissão de ar seria em torno de R\$ 5.313,60.

4.4.3.3 Ações

Uma ação que trará benefícios em curto prazo no sistema de ar comprimido é a eliminação de vazamentos. Sem uma vistoria no sistema, torna-se difícil estimar um orçamento. Mas como se trata de aperto ou substituição de conexões o custo é baixo, portanto o retorno do investimento ocorre em curto prazo.

4.4.4 Acionamentos

Há um número relativamente alto de motores em toda a indústria; aproximadamente 450 motores. Somente na área de abate de aves existe um número aproximado de 210 motores. Foi realizada a medição de trinta motores para averiguação do potencial de conservação de energia nessa área. Do total de 30 motores analisados, 23 estão com fator de carregamento abaixo do recomendado, cinco estão na faixa recomendada e dois com uma pequena sobrecarga, sendo essas de 2% e 4 %. Na tabela 23 pode ser visualizado o total aproximado de motores instalados na área de abate de aves.

A diferença de potência entre a instalada e a real (medida) na área de abate decorre de três possíveis características:

- baixo fator de utilização dos equipamentos;
- baixo fator de carregamento;

- ou ambos os casos.

Tabela 26 - Quantidade e potência de motores da área de abate

Potência nominal (cv)	Potência nominal (kW)	Quantidade	Potência total instalada (kW)
0,5	0,37	50	28,03
1	0,75	40	37,27
1,5	1,1	20	26,63
4	3	20	68,57
5	3,7	50	211,19
7,5	5,5	25	155,02
10	7,5	1	8,37
30	22	1	23,91
Potência total (KW)			558,99

Pela natureza da produção é alto o fator de utilização dos motores, pois o processo é contínuo. Tendo em vista essa característica e o total de motores com baixo fator de carregamento analisados na auditoria energética, conclui-se que é grande a possibilidade de a maioria dos motores estarem com baixo fator de carregamento.

Para verificar a possibilidade de conservação de energia, foi feita uma simulação conforme o cenário da tabela 24, onde FC indica a quantidade de motores para cada fator de carregamento.

Tabela 27 - Cenário para repotencialização de motores

Potência Antiga (cv)	Total de motores					Total	Pot. Total Antiga kW
	FC 20%	FC 40%	FC 60%	FC 75%	FC 100%		
0,5	7	7	9	11	2	36	12
1	5	5	3	8	2	23	12,4
1,5	3	3	3	4	1	14	10,5
4	3	3	3	4	1	14	26,8
5	7	7	9	10	2	35	83,6
7,5	4	4	4	4	1	17	56,3
10	0	0	0	0	1	1	8,4
30	0	0	0	0	1	1	23,9
Total						234	

A simulação foi realizada de tal forma para que o fator de utilização ficasse em torno de 0,70 e os motores estivessem distribuídos entre os fatores de carregamento, conforme estatística das medições efetuadas. O redimensionamento foi feito de forma que os novos motores ficassem com fator de carregamento o mais próximo possível da unidade. O resultado de redimensionamento pode ser visto na tabela 25, onde cada coluna está relacionada à potência nova a ser especificada com o fator de carregamento antigo.

Tabela 28 - Redimensionamento de motores da área de abate

Potência Antiga (cv)	Potência nova					Pot. Total Antiga KW	Pot. Total nova KW
	FC 20%	FC 40%	FC 60%	FC 75%	FC 100%		
0,5	0,16	0,25	0,33	0,5	0,5	12	12,04
1	0,25	0,5	0,75	0	1	12,4	13,67
1,5	0,33	0,75	1	1,5	1,5	10,5	10,93
4	1	2	3	4	4	26,8	26,53
5	0	0	0	4	5	83,6	83
7,5	0	0	5	6	7,5	56,3	56,24
10	0	0	0	0	10	8,4	8,37
30	0	12,5	20	25	30	23,9	23,91
Total						234	234,69

Muito importante é notar que a demanda prevista aumentou em vez de diminuir conforme era o previsto, o que é consequência dos seguintes fatos:

- área do abate é formada por motores de pequena potência. Conforme tabelas de fabricantes, quanto mais baixa a potência do motor menor o rendimento; e
- em muitos casos, motores de maior potência com fator de carregamento baixo consomem menos energia do que aqueles de menor potência com fator de carregamento próximo ao nominal.

Desse fato conclui-se que em muitos casos não é vantajoso efetuar uma ação de repotencialização de motores. Essa escolha se reforça principalmente em plantas com motores de baixa potência e com baixo fator de utilização.

4.4.5 Total de perdas

Verificou-se existirem grandes desperdícios na planta, muitos deles não puderam ser mensurados. Acredita-se haver mais desperdícios principalmente no sistema de refrigeração e

acionamentos. Torna-se, no entanto, necessário apontar o quantitativos das principais economias esperadas. Levando em consideração as perdas calculadas, ocorre um desperdício anual em torno de 840 MWh e uma demanda retirada fora da ponta em torno de 118 kW. Em termos econômicos, isso representa um montante aproximando de R\$ 210.000,00. Tendo perspectivas de maiores ações em EE, essa quantia ficará ainda maior. Na figura 14 podem ser vistos os potenciais de conservação de energia nos sistemas de refrigeração e ar comprimido com AEE. O sistema de refrigeração representa aproximadamente 91% do potencial de conservação de energia.

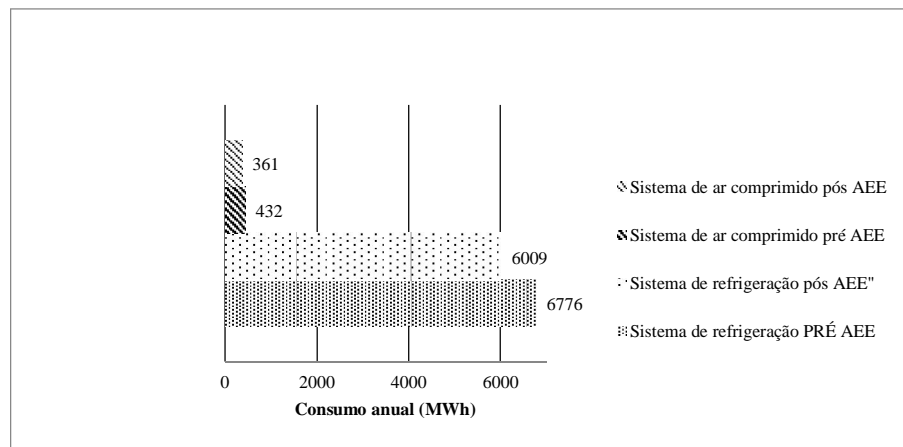


Figura 14 - Potenciais de conservação de energia em sistemas de refrigeração e ar comprimido

Na figura 15 pode ser verificado uma diminuição no consumo de energia elétrica no ano de 2012 com as ações em eficiência energética analisadas considerando a mesma produção verificada.

Outra análise se refere à questão ambiental. Considerando como base que para produzir 1 kWh no Brasil é necessário lançar 86,7654g de CO₂ para a atmosfera (*International Energy Agency* -IEA), através das ações propostas seria evitado o lançamento de o equivalente a 72,9 toneladas de CO₂ para a atmosfera.

Com a análise, comprovou-se que programas de eficiência energética são viáveis e contribuem para a conservação do meio ambiente.

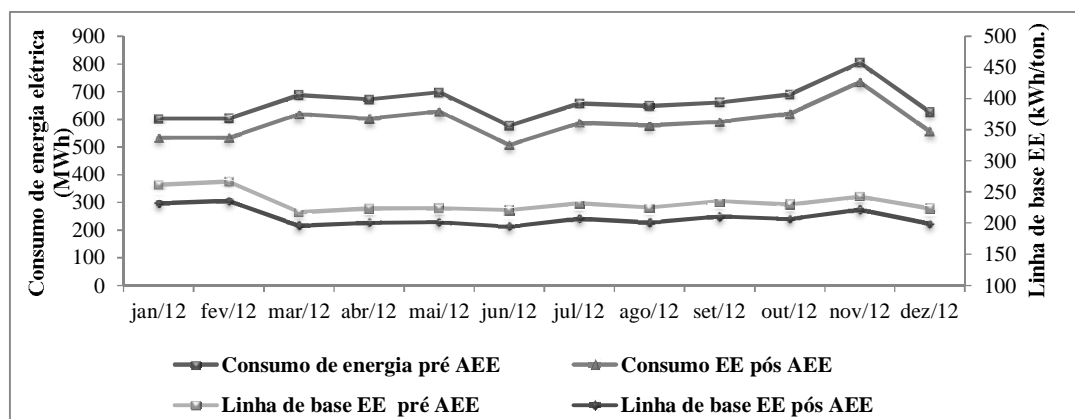


Figura 15 - Consumo de energia elétrica antes e após AEE

4.5 OPORTUNIDADES DE MELHORIA

No decorrer da auditoria energética detectaram-se vários pontos passíveis de ações de eficiência energética. A seguir, as principais oportunidades de melhoria são destacadas.

a) Análise tarifária.

Diariamente, deverá ser monitorado o consumo e a demanda de energia, assim como o fator de potência. Sugere-se que para novos contratos se faça um estudo minucioso de previsão de demanda para abster-se de gastos desnecessários.

b) Acionamentos, bombas de fluxo e ventiladores.

Recomenda-se que se realize um levantamento de fator de carga para todos os motores da planta. Com esse levantamento de carga deverá ser feito um estudo de viabilidade técnica e econômica para repotencialização. Para motores com fator de carga menor de 45% pode-se efetuar a mudança de ligação. Recomenda-se ainda o cadastro de todos os motores, a fim de se efetuar uma manutenção preventiva, como lubrificação e substituição de rolamentos.

c) Sistema de refrigeração.

Deverá ser realizada vistoria geral no sistema de refrigeração com o intuito de readequar algumas não conformidades. Os condensadores deverão ser limpos e consertados. Recomenda-se, além disso, que se faça um estudo de repotencialização dos compressores. Isolamentos danificados deverão ser substituídos. O sistema de iluminação das câmaras deverá ter acionamento apropriado.

d) Sistema de ar comprimido.

A realização de uma vistoria geral no sistema é necessária. Os vazamentos deverão ser sanados através de reaperto ou substituição de conexões. Necessita-se de um estudo para obter uma temperatura mais baixa de admissão nos compressores, e também para que o ar da troca de calor não interfira no ar da admissão.

e) Sistemas de iluminação

Recomenda-se uma readequação de nível de iluminação nos ambientes, conforme orientação das normas pertinentes. Sobre limpeza, sugere-se que as lâmpadas sejam limpas regularmente. Este procedimento fará com que haja um aumento do fluxo luminoso. Deverá ser feito também um estudo para maior utilização de iluminação natural nos ambientes. É necessário ainda um programa de conscientização para evitar o desperdício, como deixar luzes ligadas sem a presença de pessoas no recinto.

f) Quadros de distribuição de circuitos.

A fim de minimizar os efeitos da sobretemperatura detectada na inspeção termográfica, é preciso que haja uma vistoria geral nos quadros de distribuição. Além da realização de limpeza dos painéis, com a finalidade de prolongar a vida útil dos componentes.

Convém ressaltar que somente a mudança de tecnologia ou readequação de projeto não condiz com um sistema de gestão, porque tal sistema preconiza o acompanhamento contínuo de indicadores e a busca de melhoria contínua (*PDCA*). Recomenda-se, portanto, que se elabore um sistema de gestão para a planta em análise. Para tanto, fazem parte do SGE em concordância com a ISO 50001 as etapas, conforme figura 14.

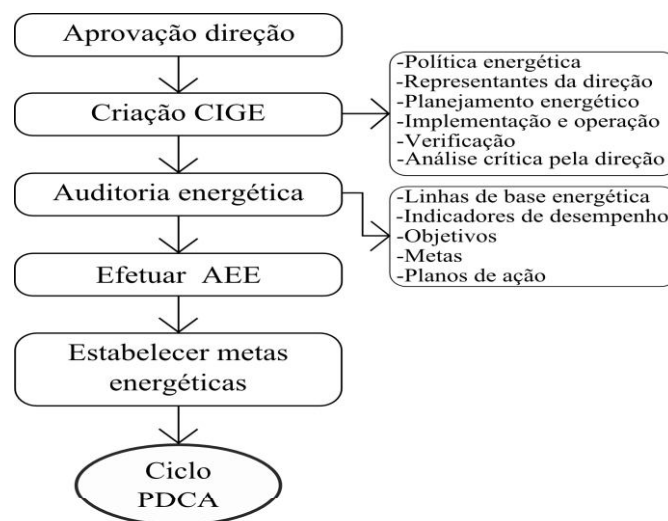


Figura 16- Etapas elaboração SGE

Durante várias visitas à empresa, a direção apoiou a implantação do sistema de gestão de energia. Uma auditoria foi efetuada e mostrou haver possibilidades de conservação de energia. O mais crucial agora é a criação de uma comissão interna de gestão de energia (CIGE) e a elaboração de uma política energética com todos os requisitos.

As principais atribuições da CIGE, em concordância com recomendações do guia de gestão de energia PROCEL são:

- contratar e acompanhar diagnósticos energéticos;
- controlar e acompanhar o faturamento de energia e demais variáveis relacionadas como fator de carga e demanda;
- avaliar dados levantados, analisar cumprimento de metas fixadas no plano de trabalho, discutir desperdícios de energia e propor reduções de consumo;
- propor medidas de gestão de energia. Acompanhar o cronograma de AEE;
- realizar inspeções periódicas visando identificar pontos de desperdício;
- conscientizar e motivar os colaboradores, através de treinamentos e divulgação;
- definir uma política de aquisição de equipamentos eficientes e realização de novos projetos que levem também a conservação de energia como pré-requisito. Muitos equipamentos possuem selos PROCEL. O selo poderá ser um diferencial na aquisição de novos equipamentos definidos pela CIGE; e
- designar agentes, representantes ou coordenadores para atividades específicas relativas à conservação de energia.

A etapa cíclica (*PDCA*) pode ser vista na figura 3 e suas premissas básicas são leitura de indicadores, verificação de não conformidades e ações corretivas. Cada módulo temático pôde fornecer uma série de indicadores que caracterizam a eficiência energética da planta. No Anexo D é apresentada uma tabela com os principais indicadores analisados no decorrer do trabalho, que servirão para o acompanhamento do SGE.

É importante citar ainda os principais meios do empresário conseguir financiamentos com a finalidade de alcançar os objetivos em relação a eficiência energética aqui citados:

- a) Banco do Brasil. Oferece linhas especiais para estimular programas de eficiência energética.

- b) BNDES - Oferece linhas de crédito para investimento em melhorias de processos e substituição de equipamentos. Além disso o BNDES consta com cartão especial para diagnósticos energéticos para micro, pequenas e médias empresas através de ESCO's.
- c) Concessionárias de energia. As concessionárias através da Lei 9.991 investem um montante em programas de eficiência energética inclusive nas indústrias.
- d) CTenerg.Fundo setorial de energia.Fundo, administrado pelo FINEP. Destina-se a programas e projetos de eficiência energética, especialmente em aplicações que envolvam uso final.

4.6 DISCUSSÃO

Os principais objetivos da auditoria energética foram estabelecer oportunidades de conservação de energia e identificar possíveis barreiras para se implantar um sistema de gestão de energia. Conforme análise de cada módulo temático e estimativa de perdas apresentada no item 4.4, torna-se animador iniciar um programa de conservação de energia na planta. Além de motivações foram encontradas, no entanto, algumas barreiras para se alcançar tais objetivos. Destaca-se a seguir as principais conclusões acerca de oportunidades, motivações e barreiras para se implantar um sistema de gestão de energia na planta, identificados na auditoria energética.

- Há potenciais de conservação de energia na planta.

Verificou-se que vários módulos temáticos não estão de acordo com requisitos de conservação de energia, principalmente os que mais impactam no consumo, sendo refrigeração, ar comprimido e acionamentos. O sistema de ar comprimido possui uma porcentagem elevada de vazamentos e o ar de admissão sofre influência do rejeito. O sistema de refrigeração possui vários compressores com baixo fator de carregamento e outros equipamentos sem uma manutenção adequada, como isolamento de portas e limpeza e conserto de colarinhos. Quanto aos motores, vários estão com fator de carregamento abaixo do recomendado.

- Nem sempre é viável a repotencialização de motores com baixo fator de carregamento.

Os motores são os equipamentos que mais consomem energia na planta. Essa afirmação baseia-se na literatura e também ao estudo de caso. Isso leva a um entendimento de que motores com baixo rendimento e fator de carregamento dão abertura para uma repotencialização. Comprovou-se esse fato para motores de grande potência e alto fator de utilização. Para motores de baixa potência e/ou baixo fator de utilização essa premissa nem sempre é verdadeira.

- É crucial que se identifique as áreas com uso significativo de energia.

Conclui-se que aproximadamente 97% da energia consumida é relativa a três módulos temáticos, de um total de 11 existentes na planta. É necessário identificar tais pontos, para não haver um tempo dispendido em estudar sistemas que não demandam um possível retorno de investimento em ações de eficiência energética. No ciclo contínuo de um SGE, todos módulos temáticos podem sofrer auditoria, mas na etapa de revisão energética é crucial identificar tais setores.

- Elaboração de indicadores é essencial para um sistema de gestão e a planta não está preparada para um sistema de medição e verificação.

O acompanhamento de um sistema de gestão se dá pela leitura de indicadores e linhas de base energética. Constatou-se na auditoria, que a elaboração de indicadores não é algo trivial. Uma grande dificuldade encontrada foi medir as variáveis pretendidas. Não há uma delimitação de fronteiras, onde se possa medir. Sendo o sistema de refrigeração o que mais consome energia na planta, não possui um medidor de energia exclusivo. Seriam necessários vários registradores para controle, já que há vários ramais de alimentação para o sistema. Observa-se ainda que o monitoramento constante dos principais indicadores pode melhorar a eficiência energética, produtividade e criar uma cultura de gestão de energia. Torna-se prudente então para novos projetos a previsão de medidores para acompanhar as variáveis desejadas.

- A linha de base oscila com a produção e difere de outras plantas.

Verificou-se que os valores de linha de base de energia elétrica variam de acordo com a produção. Isso se deve ao fato de o consumo de alguns módulos temáticos, como refrigeração, não sofrerem alteração por diferenças na quantidade produzida. Isso significa que não é possível estipular uma meta energética única. É necessário, no entanto estipular uma meta energética em acordo com a produção. Outro fato se deve a esse indicador rente de outras plantas. Um sistema de gestão preza pela melhoria contínua, isso leva a um futuro SGE

a incorporar a necessidade de haver uma meta de linha de base em acordo com outras plantas de referência em eficiência energética no mesmo segmento.

- A utilização de tecnologia sem gestão não agrega a economia esperada.

Na planta há vários equipamentos com alto rendimento, alguns exemplos podem ser dados como compressores a parafuso, lâmpadas fluorescentes T8, reatores e motores de alto rendimento. Nota-se, no entanto, que sem um controle efetivo de gestão e manutenção, a eficiência dos equipamentos não alcançará os patamares esperados. Observou-se luzes ligadas, sem presença de pessoas, vazamentos no sistema de ar comprimido e demais pontos falhos já citados. Só se conseguirá reverter essa situação com um sistema de gestão, onde a conscientização dos colaboradores, a melhoria e o acompanhamento são essenciais.

- A energia é vista como custo e não como resultado.

A aquisição de energia é um custo, mas sua utilização pode ser vista como resultado para a empresa. Diminuir o consumo total de energia é visto como meta, mas conforme análise da linha de base, um aumento da produção com proporção de aumento de consumo de energia resulta em otimização. Isso faz com que a meta seja consumir com eficiência e não diminuir consumo.

- Pouco acesso à informação.

Verificou-se que a empresa não tem acesso às informações com respeito a programas de eficiência energética. Conforme destacado na revisão, apesar de haver várias iniciativas do governo, ainda não há iniciativas de propor para o empresário mudanças na cultura de consumo de energia.

- Necessidade de equipe multidisciplinar e dificuldades de enxergar oportunidades.

Para a realização de uma auditoria energética é necessária uma equipe multidisciplinar para análise dos diferentes módulos temáticos. Pequenas e médias empresas possuem um corpo técnico focado na produção e manutenção. Dificilmente uma equipe com essa visão terá subsídios técnicos para enxergar oportunidades de conservação de energia e propor melhoria em toda a planta.

- Falta de divulgação de indicadores.

Conforme preconiza o PNEf, há uma carência de divulgação de indicadores de eficiência energética. Constatou-se que essa falta de indicadores gera dificuldades para estabelecer uma análise comparativa da planta com outras referências. Somente com referências poderá haver um ciclo de melhoria contínua.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma revisão de literatura sobre eficiência energética com foco em métodos de verificação de oportunidades de conservação de energia em termos de módulos temáticos; além de uma auditoria energética em uma planta industrial, visando identificar as possíveis barreiras para se implantar um sistema de gestão de energia e também pontos passíveis de ações de eficiência energética. A motivação do trabalho se apoiou em três pilares, sendo eles: o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) contendo inclusive propostas para o setor industrial, o lançamento de uma norma de gestão de energia (ISO 50001) e a existência de oportunidades de conservação de energia nas indústrias.

Na auditoria energética, foram levantados os setores de maior consumo, as linhas de base energética dos principais insumos energéticos, oportunidades de conservação de energia em termos de módulos temáticos e identificadas as principais barreiras para se implantar um sistema de gestão de energia. Demonstrou-se que o sistema de refrigeração representa aproximadamente 81% do consumo de energia elétrica da planta e que três módulos temáticos representam aproximadamente 97% do consumo, sendo sistema de refrigeração, acionamentos e sistema de ar comprimido. Através da análise das linhas de base, constatou-se a grande dependência entre consumo de energia elétrica e produção; e pouca correlação entre consumo de lenha, óleo diesel e produção. Demonstrou-se haver potenciais de conservação de energia em todos os módulos temáticos, com destaque para sistema de refrigeração, acionamentos e sistema de ar comprimido. Calculou-se uma economia anual de aproximadamente 840MWh, e uma diminuição de demanda de aproximadamente 118kW obtida com a reotimização de motores, eliminação de vazamentos e alteração no contrato de demanda.

Por meio dos resultados constatou-se que há desperdício de energia na empresa. Sendo assim é possível adotar um sistema de gestão de energia, mesmo sendo simples e de impacto a longo prazo. A ISO 50001 poderia ser utilizada como modelo para o sistema de gestão de energia. A grande dificuldade encontrada foi a falta de métodos para elaboração de revisão energética, indicadores de desempenho energético e linhas de base energética. Para utilizar tal norma é necessário que se conheça cada módulo temático no que diz respeito ao funcionamento ideal em termos de eficiência energética.

O PNEf vislumbra uma economia de energia considerável de energia para os próximos anos. Dentre as ferramentas que destaca para alcançar tais objetivos estão a elaboração, por parte de instituições, de indicadores de referência como consumo específico e intensidade energética e também a utilização da norma ISO 50001 como molde para estruturação de um sistema de gestão. Desde a divulgação da norma, em junho de 2011, no entanto, poucas empresas vêm buscando a certificação. A estratégia prioritária das indústrias está em satisfazer seus clientes, e preocupações com meio ambiente e eficiência energética ocupam o último lugar. Desta forma fica evidente que a expectativa do PNEf, de reduzir a demanda em 5% com progresso autônomo, será frustrada e programas para induzir a adoção de sistemas de gestão deverão ser implementados para atingir a meta prevista.

6 REFERÊNCIAS

ABESCO. disponível em: <http://www.abesco.gov.br/>.

ABINEE. disponível em: <http://www.abinee.org.br/>

ABNT.**NBR 5410:Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro,2004.

ABNT. **NBR 5413:Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. **NBR ISO 50001:Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientação para uso**. Rio de Janeiro,2011.

ALSOPP, C., FATTOUH, B.**Oil and international energy**. Oxford Review of Economic Policy,v.27,n.1,p.1-32,2011.

ANEEL. disponvel em:<http://www.aneel.gov.br/>.

ANEEL.Resolução normativa n.º 414 de 2010

BASTOS, R. C., CARVALHO, F. C., SOUSA, G., FILHO, P. C., & BRITO, J. N. **Inspeção Termográfica de Equipamentos Industriais - Casos de Sucesso**. In: XI Congresso de Engenharia Mecânica, Metalúrgica e Industrial, 2011, Porto Alegre.

BLASQUES, L.C. M, SOUZA, M. S. , PINHOJ. T, TUPIASSÚ. A.A.A.**Experiência com elaboração de diagnósticos energéticos através do programa de eficiência energética no Pará**. In: CBEE/ABEE,2009

BUENO, L. G. **Diagnóstico do uso de energia elétrica de um frigorífico de abate de frangos de corte enfatizando medidas de eficiência energética**. 2008,156 f.Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAMACHO, M. A. **Modelo para Implantação e Acompanhamento de Programa Corporativo de Gestão de Energia**. 2009.176 f.Tese(Mestrado em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) - Centro de Engenharia e Elétrica e Informática,Universidade Federal de Campina Grande,Campina Grande.

CAMPOS, A. D.**Gerenciamento Pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso**. .2004.86 f.Tese(Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo,São Paulo.

CELESC. disponível em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/>

COHEN,J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Lawrence Erlbaum Associates,1988.

COPEL. disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/index.jsp>

CONPET. disponível em: http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/pagina-inicial.shtml.

DOMANSKI, S. R., LOURENÇO, S. R. **Eficiência Energética nos Processos Produtivos na indústria**. In: IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2011, Curitiba.

EASA. disponível em: <http://www.easa.com/>.

EPE. disponível em: <http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>

EVO. disponível em: <http://www.evo-world.org/index.php?lang=pt>

FATOR BRASIL. disponível em: <http://www.revistafatorbrasil.com.br>

FERREIRA, J. J., FERREIRA, T. J. **Economia e Gestão da Energia**. Lisboa: Texto Editora, 1994.

GOLDEMBERG, J., LUCON, O. **Energias Renováveis: um futuro sustentável**. Revista USP, v.72 ,p.6-15, dez. 2006, São Paulo.

GOMES, V. J. **O meio ambiente e o risco de apagão no Brasil**. In: II Seminário internacional - Reestruturação do setor de energia elétrica e gás natural, Rio de Janeiro: Anais 2007.

GUILLIOD, S., CORDEIRO, M. L. **Manual do Pré-Diagnóstico Energético. Autodiagnóstico na Área de Prédio Públicos**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2010.

IAPAR. disponível em: <http://www.iapar.br/>.

IEA. disponível em: <http://www.iea.org/>

IBGE. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: 2010.

KENNEY, W. F. **Energy conservation in process industries**. Academic Press, 1984.

KRAUSE, C., et al. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2002.

LEI, F., Hu, P. **A baseline model for office building energy consumption in hot summer and cold winter region**. In: Management and Service Science, 2009. MASS '09. International Conference on, 2009.

LEITE, F. C. **Modelamento da Eficiência Energética para o Gerenciamento Sustentável no Setor Industrial pela Medição e Verificação**. 2010.94 f.Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LINARES, P., LABANDEIRA, X. **Energy Efficiency: Economics and Policy**. Journal of Economic Surveys 2010. Malden. V.24, n.3, p.573–592, maio.2010.

LISE, W.; MONTFORT, V. Energy Consumption and GPD in Turkey: Is there a Cointegration? in. **Eco Mod 2005 International Conference on Policy Modeling**, 2005, Istanbul.

MAPA. Portaria n.º 2010 de 10 de Novembro de 1998.

MEDEIROS, W. S. **Proposta de Diretrizes para Auditoria Energética em Pequenas e Médias Empresas: Ferramenta para Ecoeficiência em Sistemas Produtivos**. 2010.186f. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em tecnologia, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2010.

MELO, H. Proálcool, energia e transportes. FIPE/Pioneira, 1981.

MIYATA, M., YOSHIDA, H., ASADA, M., IWATA, T., TANABE, Y., YANAGISAW, T. **Estimation of Energy Baseline by Simulation for On-going Commissioning and Energy Saving Retrofit**. Building Commissioning for Energy Efficiency and Comfort. V.6, 2006.

MME. disponível em:<http://www.mme.gov.br/mme>.

MONACHESI, M. G. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

MORALES, C. **Indicadores de Consumo de Energia Elétrica como Ferramentas de Apoio a Gestão: Classificação por Prioridades de Atuação na Universidade de São Paulo**. 2007.100 f. Tese (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOORE, D. S. **The Basic Practice of Statistics**. New York: Freeman, 2007.

PATTERSON, M. G. **What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues**. Energy Policy. v24, p.377-390, 1996.

PINHEIRO, T. M., DAMASCENO, S. M., OLIVEIRA, M. A. **Visão geral dos projetos de eficiência energética cadastrados na ANEEL no período de 2008 a 2010** in: In: IV Congresso de Eficiência Energética, Juiz de Fora: 2011.

POLLETO, E. L. **Aprimoramento de uma bancada de ensaios de desempenho de compressores herméticos visando reduzir incertezas de medição** 2006.107f. Dissertação (Mestrado)-Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PROCEL. disponível em:<http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>.

PROCEL-ELETROBRÁS. (2005). Guia Técnico Gestão Energética. Rio de Janeiro.

ROCHA, N. R., Monteiro, M. A. **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás,2005.

SAIDEL, M. A., FAVATO, L. B.,MORALES, C.**Indicadores Energéticos e Ambientais: Ferramenta Importante na Gestão da Energia Elétrica**. In:CBEE/ABEE,2005.

SANTOS, A. M., et al. **Conservação de Energia**. 3 ed.Itajubá:2006.

SIITONEN, S.,TUOMAIA, M.,AHTILA, P. **Variables affecting energy efficiency and CO2 emissions in the steel industry**. *Energy Policy*.v.38,p.2477-2485,2010.

SOBRINHO, J. L. **Proposta de Metodologia de Gestão de Energia Elétrica no Processo Industrial**. 2001. 110 f.Tese(Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia)-Instituto de Engenharia do Paraná(IEP),Instituto para o Desenvolvimento(LACTEC),Curitiba.

SOUZA, A. D., GUERRA, J. C., & KRUGER, E. L. (2011). **Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico**. *Revista Tecnologia e Sociedade*,ed 1,2011.

TANAKA, K. **Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy**. *Energy Policy*,v.36,2008.

VENTURINI, O. J. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás,2005.

WEG. disponível em: <http://www.weg.net/br>

ZANIN,A;SOUZA,S.N. M; KOLLING, E. M; SORDI, A. **Perfil do consumo de energia elétrica no abate de frangos de corte - Estudo de caso**. In: Encontro de energia no meio rural, 2002.

ANEXO A - Níveis de iluminação área administrativa 01

Setor	Ponto	Nível de iluminação medido (LUX)	Nível de iluminação requerido (LUX)
Projetos	Ponto 1	750,00	500,00
Projetos	Ponto 2	600,00	500,00
Projetos	Ponto 3	615,00	500,00
Sala atendentes	Ponto 1	560,00	500,00
Sala atendentes	Ponto 2	580,00	500,00
Sala atendentes	Ponto 3	553,00	500,00
Sala atendentes	Ponto 4	542,00	500,00
Sala de atendimento	Ponto 1	305,00	500,00
Sala de atendimento	Ponto 2	785,00	500,00
Sala de atendimento	Ponto 3	367,00	500,00
Supervisão qualidade	Ponto 1	433,00	500,00
Supervisão qualidade	Ponto 2	586,00	500,00
Supervisão qualidade	Ponto 3	498,00	500,00
Financeiro	Ponto 1	530,00	500,00
Copa	Ponto 1	411,00	300,00
Sala de Atendentes 2	Ponto 1	1140,00	500,00
Sala de Atendentes 2	Ponto 2	330,00	500,00
Sala de Atendentes 2	Ponto 3	342,00	500,00
Sala de Atendentes 2	Ponto 4	360,00	500,00
Analista de vendas	Ponto 1	375,00	500,00
Direção Produção	Ponto 1	520,00	500,00
Diretor	Ponto 1	560,00	500,00
Gerente Comercial	Ponto 1	965,00	500,00
Analista de Transportes	Ponto 1	570,00	500,00
Recepção	Ponto 1	820,00	200,00
Contabilidade	Ponto 1	570,00	500,00
Contabilidade	Ponto 2	530,00	500,00
Contabilidade	Ponto 3	630,00	500,00
Contabilidade	Ponto 4	490,00	500,00
Contabilidade	Ponto 5	670,00	500,00
Contabilidade	Ponto 6	480,00	500,00
Contabilidade	Ponto 7	470,00	500,00
Contabilidade	Ponto 8	507,00	500,00
Almoxarifado contabilidade	Ponto 1	470,00	150,00
Técnicos Informática	Ponto 1	675,00	500,00
Técnicos Informática	Ponto 2	660,00	500,00
Atendimento	Ponto 1	490,00	500,00
Analista	Ponto 1	550,00	500,00
Espera	Ponto 1	1085,00	150,00
Gerente Administrativo	Ponto 1	600,00	500,00
Gerente Industrial	Ponto 1	497,00	500,00
Almoxarifado	Ponto 1	130,00	500,00
Almoxarifado	Ponto 2	165,00	500,00
Almoxarifado	Ponto 3	300,00	500,00

ANEXO B - Níveis de iluminação área administrativa 02

Setor	Ponto	Nível de iluminação medido (LUX)	Nível de iluminação requerido (LUX)
Recursos Humanos	Ponto 1	259,00	500,00
Recursos Humanos	Ponto 2	280,00	500,00
Recursos Humanos	Ponto 3	330,00	500,00
Recursos Humanos	Ponto 4	330,00	500,00
Sala de RH	Ponto 1	670,00	500,00
Sala de RH	Ponto 2	702,00	500,00
Lavanderia	Ponto 1	366,00	200,00
Lavanderia	Ponto 2	209,00	200,00
Lavanderia	Ponto 3	125,00	200,00
Lavanderia	Ponto 4	86,00	200,00
Lavanderia	Ponto 5	209,00	200,00
Lavanderia	Ponto 6	237,00	200,00
Lavanderia	Ponto 7	240,00	200,00
Lavanderia	Ponto 8	240,00	200,00
Enfermaria	Ponto 1	360,00	200,00
Sala de Fisioterapia	Ponto 1	180,00	500,00
WC Masculino	Ponto 1	115,00	150,00
Sala 7	Ponto 1	140,00	150,00
Vestiário masculino	Ponto 1	225,00	150,00
Vestiário masculino	Ponto 2	233,00	150,00
Vestiário masculino	Ponto 3	245,00	150,00
Vestiário feminino	Ponto 1	180,00	150,00
Vestiário feminino	Ponto 2	230,00	150,00
Vestiário feminino	Ponto 3	250,00	150,00
Banheiro feminino	Ponto 1	245,00	150,00
Vestiário masculino 2	Ponto 1	611,00	150,00
Auditório	Ponto 1	348,00	150,00
Auditório	Ponto 2	367,00	150,00
Auditório	Ponto 3	350,00	150,00
Supervisão manutenção	Ponto 1	570,00	500,00
Supervisão manutenção	Ponto 2	512,00	500,00
PCM	Ponto 1	670,00	500,00
PCM	Ponto 2	700,00	500,00
PCM	Ponto 3	480,00	500,00
PCM	Ponto 4	565,00	500,00
Sala Elétrica	Ponto 1	498,00	500,00
Sala mecânica	Ponto 1	1990,00	500,00
Sala mecânica	Ponto 2	336,00	500,00
Refeitório	Ponto 1	860,00	150,00
Refeitório	Ponto 2	690,00	150,00
Refeitório	Ponto 3	794,00	150,00
Refeitório	Ponto 4	711,00	150,00
Refeitório	Ponto 5	560,00	150,00
Cozinha	Ponto 1	860,00	500,00
Cozinha	Ponto 2	690,00	500,00
Cozinha	Ponto 3	794,00	500,00
Cozinha	Ponto 4	711,00	500,00
Cozinha	Ponto 5	560,00	500,00
Armazém refeitório	Ponto 1	422,00	150,00
Sala nutricionista	Ponto 1	370,00	500,00
Sala nutricionista	Ponto 2	610,00	500,00
Lavagem de pratos	Ponto 1	532,00	500,00
Lavagem de pratos	Ponto 2	565,00	500,00
Lavagem de pratos	Ponto 3	886,00	500,00

ANEXO C - Níveis de iluminação da área do frigorífico

Setor	Ponto	Nível de iluminação medido (LUX)	Nível de iluminação requerido (LUX)
IQF	Balança	595,00	500,00
IQF	Ponto 2	507,00	500,00
IQF	Ponto 3	503,00	500,00
Sala Dripping	Balança	512,00	500,00
Sala Dripping	Ponto 2	644,00	500,00
Corredor Sala de anexo	Ponto 1	217,00	100,00
Corredor Sala de anexo	Ponto 2	320,00	100,00
Corredor Sala de anexo	Ponto 3	246,00	100,00
Sala de carrinho	computador	538,00	500,00
Sala de carrinho	máquina de carimbo	505,00	500,00
Montagem de caixa	Ponto 1	240,00	150,00
Montagem de caixa	Ponto 2	265,00	150,00
Montagem de caixa	Ponto 3	113,00	150,00
Montagem de caixa	Ponto 4	390,00	150,00
Lavagem de caixas	Ponto 1	360,00	200,00
Lavagem de caixas	Ponto 2	344,00	200,00
Lavagem de caixas	Ponto 3	337,00	200,00
Pesagem	Ponto 1	418,00	300,00
Pesagem	Ponto 2	415,00	300,00
Pesagem	Ponto 3	200,00	300,00
Montagem de miúdos	Ponto 1	280,00	300,00
Antecâmara Túneis	Ponto 1	376,00	100,00
Antecâmara Túneis	Ponto 2	414,00	100,00
Corredor das gaiolas expedição	Ponto 1	310,00	100,00
Corredor das gaiolas expedição	Ponto 2	327,00	100,00
Antecâmara saída dos túneis	Ponto 1	155,00	100,00
Antecâmara saída dos túneis	Ponto 2	159,00	100,00
Antecâmara saída dos túneis	Ponto 3	223,00	100,00
Expedição	Ponto 1	135,00	100,00
Expedição	Ponto 2	245,00	100,00
Expedição	Ponto 3	158,00	100,00
Expedição	Ponto 4	212,00	100,00
Expedição	Ponto 5	267,00	100,00
Expedição	Ponto 6	211,00	100,00
Expedição	Ponto 7	201,00	100,00
Expedição	Ponto 8	153,00	100,00
Sala de Baterias	Ponto 1	263,00	300,00
Sala de Supervisão	Ponto 1	277,00	500,00
Sala de Supervisão	Ponto 2	326,00	500,00
Barreira Sanitária expedição	Ponto 1	1370,00	100,00
Câmara 03	Ponto 1	145,00	150,00
Câmara 03	Ponto 2	27,00	150,00
Câmara 03	Ponto 3	38,00	150,00
Câmara 02	Ponto 1	190,00	150,00
Câmara 02	Ponto 2	400,00	150,00
Túnel 02	Ponto 1	6,00	150,00
Túnel 02	Ponto 2	20,00	150,00
Túnel 02	Ponto 3	2,00	150,00
Túnel 03	Ponto 1	8,00	150,00
Túnel 03	Ponto 2	4,00	150,00
Túnel 04	Ponto 1	25,00	150,00
Espotejamento Frango a passarinho	Ponto 1	325,00	500,00
Espotejamento Frango a passarinho	Ponto 2	619,00	500,00

Setor	Ponto	Nível de iluminação medido (LUX)	Nível de iluminação requerido (LUX)
Esportejamento Frango a passarinho	Ponto 3	424,00	500,00
Sala de caixas sujas	Ponto 1	322,00	300,00
Sala de caixas sujas	Ponto 2	305,00	300,00
Sala de pele	Ponto 1	390,00	500,00
Sala de pele	Ponto 2	350,00	500,00
Sala de caixas brancas limpas	Ponto 1	285,00	300,00
Sala de caixas brancas limpas	Ponto 2	422,00	300,00
Sala de caixas brancas limpas	Ponto 3	500,00	300,00
Linha esteira Sassami	Ponto 1	360,00	500,00
Linha esteira Sassami	Ponto 2	303,00	500,00
Linha esteira Sassami	Ponto 3	268,00	500,00
Linha esteira Sassami	Ponto 4	324,00	500,00
Linha esteira filé de peito	Ponto 1	155,00	500,00
Linha esteira filé de peito	Ponto 2	220,00	500,00
Linha esteira filé de peito	Ponto 3	300,00	500,00
Linha esteira filé de peito	Ponto 4	251,00	500,00
Linha esteira filé de peito	Ponto 5	237,00	500,00
Asas	Ponto 1	222,00	500,00
Asas	Ponto 2	227,00	500,00
Asas	Ponto 3	317,00	500,00
Asas	Balança 1	275,00	500,00
Asas	Balança 2	252,00	500,00
Linha coxa e sobrecoxa	Ponto 1	209,00	500,00
Linha coxa e sobrecoxa	Ponto 2	305,00	500,00
Linha coxa e sobrecoxa	Ponto 3	355,00	500,00
Linha coxa e sobrecoxa	Ponto 4	173,00	500,00
Linha coxa e sobrecoxa	Ponto 5	191,00	500,00
Desossa de sobrecoxa	Ponto 1	216,00	500,00
Desossa de sobrecoxa	Ponto 2	236,00	500,00
Desossa de sobrecoxa	Ponto 3	231,00	500,00
Máquina de retirada de pele de sobrecoxa	Ponto 1	143,00	500,00
Máquina de retirada de pele de sobrecoxa	Ponto 2	158,00	500,00
Cones 01 e02	Ponto 1	340,00	500,00
Cones 01 e02	Ponto 2	340,00	500,00
Cones 01 e02	Ponto 3	411,00	500,00
Cones 01 e02	Ponto 4	287,00	500,00
Cones 01 e02	Ponto 5	545,00	500,00
Cones 01 e02	Ponto 6	580,00	500,00
Cones 03 e 04	Ponto 1	516,00	500,00
Cones 03 e 04	Ponto 2	585,00	500,00
Cones 03 e 04	Ponto 3	406,00	500,00
Cones 03 e 04	Ponto 4	415,00	500,00
Cones 03 e 04	Ponto 5	340,00	500,00
Cones 03 e 04	Ponto 6	400,00	500,00
Cones 05 e 06	Ponto 1	370,00	500,00
Cones 05 e 06	Ponto 2	415,00	500,00
Cones 05 e 06	Ponto 3	386,00	500,00
Cones 05 e 06	Ponto 4	300,00	500,00
Cones 05 e 06	Ponto 5	456,00	500,00
Cones 05 e 06	Ponto 6	507,00	300,00
Sala de esterilização	Ponto 1	444,00	300,00
Sala de esterilização	Ponto 2	488,00	300,00
Higienização de facas e utensílios	Ponto 1	593,00	500,00
Higienização de facas e utensílios	Ponto 2	563,00	500,00
Sala de Dorso	Ponto 1	351,00	500,00
Sala de Dorso	Ponto 2	517,00	500,00

Setor	Ponto	Nível de iluminação medido (LUX)	Nível de iluminação requerido (LUX)
Chiller	Ponto 2	180,00	300,00
Chiller	Ponto 3	175,00	300,00
Chiller	Ponto 4	181,00	300,00
Mesa de rependura	Ponto 1	325,00	300,00
Mesa de rependura	Ponto 2	318,00	300,00
Mesa de rependura	Ponto 3	144,00	300,00
Sala de miúdos	Gordura	421,00	500,00
Sala de miúdos	Coração	412,00	500,00
Sala de miúdos	Fígado	420,00	500,00
Sala de miúdos	Estoque degelo	147,00	150,00
Sala de miúdos	Cortes condicionais	464,00	500,00
Sala de miúdos	Pés	423,00	500,00
Sala de miúdos	Moela	421,00	500,00
Corredor de Barreira Sanitária Geral	Ponto 1	153,00	100,00
Corredor de Barreira Sanitária Geral	Ponto 2	234,00	100,00
Corredor de Barreira Sanitária Geral	Ponto 3	230,00	100,00
Corredor de Barreira Sanitária Geral	Ponto 4	202,00	100,00
Corredor de Barreira Sanitária Geral	Ponto 5	109,00	100,00
Corredor de Barreira Sanitária Geral	Ponto 6	215,00	100,00
Evisceração Revisão	Ponto 1	364,00	500,00
Evisceração Revisão	Ponto 2	368,00	500,00
PCC 1B	Ponto 1	372,00	500,00
Evisceradores	Ponto 1	396,00	500,00
Evisceradores	Ponto 2	380,00	500,00
Evisceradores	Ponto 3	391,00	500,00
Evisceradores	Ponto 4	455,00	500,00
Máquina de moela	Ponto 1	610,00	500,00
Máquina de fígado	Ponto 1	660,00	500,00
DIF	Ponto 1	518,00	500,00
DIF	Ponto 2	413,00	500,00
DIF	Ponto 3	418,00	500,00
STAFF	Balança	226,00	500,00
STAFF	Ponto 2	233,00	500,00
STAFF	Ponto 3	208,00	500,00
Supervisor Abate	Ponto 1	383,00	500,00
Supervisor Abate	Ponto 2	395,00	500,00
Depenagem	Ponto 1	140,00	500,00
Depenagem	Ponto 2	204,00	500,00
Depenagem	Ponto 3	198,00	500,00
Depenagem	Ponto 4	212,00	500,00
Depenagem	Ponto 5	294,00	500,00
Depenagem	Ponto 6	270,00	500,00
Depenagem	Ponto 7	160,00	500,00
Inspeção	Ponto 1	290,00	500,00
Inspeção	Ponto 2	193,00	500,00
Sala de classificação de pés	Ponto 1	278,00	500,00
Sala de classificação de pés	Ponto 2	287,00	500,00
Sala de classificação de pés	Ponto 3	254,00	500,00
Sala de classificação de pés	Ponto 4	338,00	500,00
Sala de classificação de pés	Ponto 5	372,00	500,00
Garantia de qualidade	Computador	348,00	500,00
Garantia de qualidade	mesa	355,00	500,00
Garantia de qualidade	notebook	365,00	500,00
Supervisão	Ponto 1	454,00	500,00
Supervisão	Ponto 2	457,00	500,00
Sangria	Ponto 1	148,00	300,00

Setor	Ponto	Nível de iluminação medido (LUX)	Nível de iluminação requerido (LUX)
Sangria	Ponto 4	253,00	300,00
Sangria	Ponto 5	207,00	300,00
Sangria	Ponto 6	204,00	300,00
Sala de controle máquinas	Ponto 1	460,00	300,00

ANEXO D - Principais indicadores de eficiência energética abordados

Sigla	Descrição	Equação	SISTEMA
FC	Fator de carregamento	29	Acionamentos
PCR	Índice Percentual de Consumo no Período Reservado	4	Instalação
PCT	Índice Percentual de Consumo Total	x	Instalação
CMM	Índice de Consumo médio mensal por m ²	5	Instalação
CMF	Índice de Consumo médio mensal por funcionário	6	Instalação
DMM	Índice de Demanda Máxima Mensal por m ² .	8	Instalação
DMF	Índice de demanda máxima mensal por funcionários	9	Instalação
LBEE	Linha de base de energia elétrica	35	Instalação
LBOD	Linha de base - óleo diesel	36	Instalação
LBL	Linha de base de lenha	37	Instalação
FP	Fator de Potência	11	Quadros de distribuição
FCa	Fator de carga	x	Quadros de distribuição
PE	Perdas elétricas	x	Quadros de distribuição
THD	Taxa de distorção harmônica	33	Qualidade de energia
k	Fator k	34	Qualidade de energia
B	Benefício temperatura de admissão ar comprimido	23	Sistema ar comprimido
V _p	Vazão perdida	25	Sistema de ar comprimido
Et	Energia desperdiçada devido ao nível inadequado de temperatura	13	Sistema de refrigeração
Ei	Energia desperdiçada devido ao tipo inadequado de iluminação	14	Sistema de refrigeração
Ein	Energia desperdiçada devido à inexistência de termostato ou pressostato	15	Sistema de refrigeração
Eirr	Energia desperdiçada devido à incidência direta de raios solares e isolamento deficiente	18	Sistema de refrigeração
Eved	Energia desperdiçada devido à vedação precária de portas e cortinas	20	Sistema de refrigeração
COP	Coefficiente de Performance	21	Sistema de refrigeração

APÊNDICES

APÊNDICE- A - Publicações resultantes deste trabalho

FROZZA, F. F.; LAFAY, J. M. S; BALDIN, V.; MARANGONI, F. **Metodologia de Implantação de um sistema de Gestão de Energia Utilizando ABNT NBR ISO 50001**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2012.