


ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR Roberto Perillo  
BARBOSA DA SILVA ..... E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 18 / 02 / 2011

  
.....  
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Autor: **Roberto Perillo Barbosa da Silva**

**Análise do uso da energia elétrica em  
instalações industriais do segmento de  
Alimentos e Bebidas**

Campinas, Fevereiro de 2011

Autor: **Roberto Perillo Barbosa da Silva**

# **Análise do uso da energia elétrica em instalações industriais do segmento de Alimentos e Bebidas**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Área de Concentração: --

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi

Campinas  
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Si38a Silva, Roberto Perillo Barbosa da  
Análise do uso da energia elétrica em instalações industriais do segmento de alimentos e bebidas / Roberto Perillo Barbosa da Silva. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Luiz Antonio Rossi.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Alimentos. 2. Bebidas. 3. Energia Elétrica. 4. Eficiência energética - Indicadores. 5. Instalações industriais. I. Rossi, Luiz Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Analysis of electrical energy uses in food and beverages industries

Palavras-chave em Inglês: Food, Beverages, Electrical energy, Energy efficiency indicators, Industrial installations

Área de concentração: -

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Sérgio Valdir Bajay, Carlos Alberto Mariotoni

Data da defesa: 18/02/2011

Programa de Pós Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

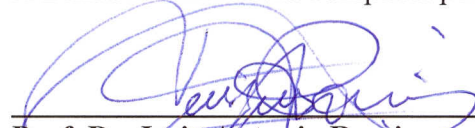
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

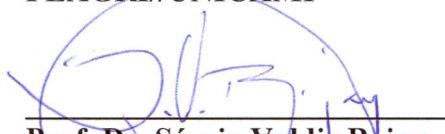
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**


**Análise do uso da energia elétrica em  
instalações industriais do segmento de  
Alimentos e Bebidas**

Autor: **Roberto Perillo Barbosa da Silva**  
Orientador: **Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi**  
FEAGRI//UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay**  
PSE/FEM/UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni**  
FEC/UNICAMP

Campinas, 18 de fevereiro de 2011

Dedico esse trabalho primeiramente ao Pai Celestial, por todas as bênçãos

Aos meus pais José Carlos e Sandra, por tudo o que fizeram por mim

À minha esposa Vivian, pelo amor, carinho, cuidado, companheirismo e compreensão

Aos meus irmãos Rafael e Renan

À minha família como um todo: tios (as), avós, avôs (*in memoriam*), primos (as) e aos membros da família Bressan & Petenucci

Aos meus estimados amigos que conquistei ao longo dos anos

## **Agradecimentos**

Este trabalho não poderia ser realizado sem a ajuda de diversas pessoas e instituições, às quais presto minhas sinceras homenagens.

Ao Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi, pela orientação e confiança depositadas durante todos os anos de trabalho e pela dedicação em aproveitar minhas virtudes e me mostrar os caminhos a serem seguidos.

Ao Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay, pela co-orientação, mesmo que informal, pela paciência e dedicação em me mostrar o caminho para o aperfeiçoamento desta dissertação.

Ao Sr. Edson Roberto Caires, do Laboratório de Eletrificação Rural da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da UNICAMP, pela amizade, pelos ensinamentos e pelo companheirismo no desenvolvimento deste trabalho.

Às empresas que participaram deste projeto, assim como aos seus colaboradores, pela atenção e por acreditarem na seriedade e importância da pesquisa.

Aos Professores do curso de Planejamento de Sistemas Energéticos da UNICAMP, assim como aos professores do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), pelos ensinamentos repassados, pela compreensão e pela amizade.

Aos companheiros e às companheiras de jornada: Alaíse Gomes, André Teixeira, Davi Gabriel, Eduardo David, Elisa Bastos, Jéssica Pillon e Regiane Barros.

Aos Funcionários da Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, pela colaboração e esclarecimentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

Injúrias e dissidências,  
Gestos chulos, onde vás,  
Não reajas nem respostas,  
O silêncio pode mais.

*Autor desconhecido.*

## Resumo

A energia elétrica é um insumo com diversas aplicações. No caso industrial, este insumo corresponde a uma parcela daqueles utilizados na produção e, por isso, busca-se, cada vez mais, a racionalização deste tipo de energia, sem que, para isso, seja necessário diminuir o nível de produção, ou prejudicar a qualidade do produto final. No Brasil, o setor industrial é responsável por cerca da metade do consumo final de energia elétrica; logo, ações que visam estimular o uso racional e a conservação de energia elétrica são importantes. Este trabalho teve como objetivo analisar o uso da energia elétrica em instalações industriais do segmento de Alimentos e Bebidas, através de uma amostra situada na região Sudeste do Brasil. O segmento foi escolhido pelo fato de ter grande representatividade, em termos de maiores consumidores de energia elétrica, entre as indústrias do País. Para o desenvolvimento do trabalho, foi aplicado nas instalações industriais um questionário preliminar para identificar dados primários referentes aos processos e sistemas existentes em cada uma delas. Posteriormente, foram realizados diagnósticos energéticos nessas instalações para identificar e quantificar, através de medições em campo, as condições nominais e operativas dos equipamentos e processos e caracterizar a utilização da energia elétrica. Para a realização das medições, utilizou-se o Guia Nacional de Medição e Verificação (M&V) da Eletrobrás/PROCEL, para padronizar as análises. Portanto, através da medição em campo, determinou-se para cada instalação industrial analisada, indicadores de eficiência energética, como o fator de carga, o consumo específico e o preço médio da energia. Também foi realizada a análise do enquadramento tarifário das instalações, com o intuito de verificar se as condições atuais de contratação e fornecimento de energia elétrica consistem nas mais adequadas para o perfil de cada uma delas. Constatou-se através das medições e da análise do enquadramento tarifário que, apesar das instalações já terem equipes que realizam algum tipo de monitoramento do uso da energia elétrica, em muitos casos ainda se tem oportunidades para a racionalização do uso da energia elétrica. E mais, sugere-se que seja realizado um estudo de prospecção tecnológica, pois cada vez mais há o surgimento de novos processos e/ou equipamentos mais eficientes, podendo aumentar ainda mais o potencial para a otimização do uso da energia elétrica. No Brasil existem atualmente linhas para financiamento, visando à eficiência energética, além de empresas que prestam serviço e financiam a implantação destas ações (as chamadas ESCOs),



sendo ressarcidas através das economias obtidas. Por isso a importância de trabalhos que enfatizam a viabilidade de ações visando aumentar a eficiência energética nos processos e equipamentos, pois ainda há grande aversão ao risco por parte dos empresários.

*Palavras chave:* alimentos e bebidas, energia elétrica, indicadores de eficiência energética, instalações industriais, uso racional de energia elétrica.

## **Abstract**

Electrical energy is an input with many applications. In industries, this input corresponds to a considerable portion utilized in the production and for this reason, it is demanded ways to save energy without decreasing the production or cause no prejudice to final product quality. In Brazil, industries consume about half of the electrical energy utilized in the industrial sector therefore it is important to study actions that intend to stimulate rational use of energy and its conservation. The current study aims to analyze electrical energy uses in food and beverages industry installations through a sample located in Southeast region of Brazil. These segments of industry have been chosen because they have highly representative as the largest consumers of electrical energy in the country. For the developing of the research, it was applied preliminary questions in industrial installations intending to identify primary data relating to process and systems in each industry. Afterwards, it was realized energy diagnosis to identify and quantify, through field measures, the nominal and operatives conditions of equipments and process besides characterize the uses of energy. For the measures data collection and standard the analysis, it has been used the National Guide of Measurement and Verification (M&V) from Eletrobrás/PROCEL. Therefore, through the measurement in industries, it was determined for each industry installation analyzed, energy efficiency indicators as charge factor, specific consumption and energy average price. In addition, it was achieved the charging system analysis of installations, with purpose of verifying if the current conditions of contractation and energy supply consists in the most appropriate profile for each industry. It was verified through measurement and charging system analysis that in spite of the installations have already had staffs responsible for monitoring the uses of electricity, in most situations, there are still opportunities to avoid electrical energy waste. Furthermore, this current research proposes a study of technological prospecting, because more and more most efficient equipments and new process are emerging, increasing the potential to optimize the uses of electrical energy. In Brazil, there are researches funding aiming energy efficiency, besides several companies providing service and financing the implementation of these actions (known as ESCOs) and they are compensated through saving costs. For this reason, researches that emphasizes energy efficiency

on equipments and process are very important because industry community has had risk aversion yet.

*Key words:* Food and beverages, electrical energy, energy efficiency indicators, industrial installations, rational uses of electrical energy.

## Lista de Ilustrações

Figura 2.1: Máxima eficiência do capital no uso racional de energia.....	08
Figura 2.2: Distribuição do consumo final de energia elétrica no Brasil.....	11
Figura 2.3: Evolução do consumo industrial de energia elétrica no Brasil.....	12
Figura 2.4: Consumo industrial de energia elétrica no Brasil em 2009 (GWh).....	13
Figura 2.5: Custo de energia conservada por segmento industrial.....	15
Figura 3.1: Etapas genéricas da produção de cerveja.....	23
Figura 3.2: Etapas genéricas da indústria de produtos lácteos.....	25
Figura 3.3: Fluxograma genérico de industrialização de carnes.....	26
Figura 3.4: Participação percentual dos diversos segmentos no consumo final de energia elétrica na indústria brasileira em 2008.....	27
Figura 3.5: Evolução do consumo de energia elétrica do segmento de alimentos e bebidas.....	28
Figura 3.6: Fluxograma da linha de produção dos salgadinhos de milho.....	32
Figura 3.7: Fluxograma da linha de produção dos pastifícios.....	34
Figura 3.8.a: Fluxograma básico da linha de produção da salsicha e mortadela.....	37
Figura 3.8.b: Fluxograma básico da linha de produção do presunto.....	38
Figura 3.8.c: Fluxograma básico da linha de produção da lingüiça.....	39
Figura 3.9: Fluxograma básico do processo de produção de iogurtes.....	41
Figura 3.10: Fluxograma genérico da indústria de produtos lácteos.....	43
Figura 4.1: Equipamento utilizado – SAGA .....	46
Figura 4.2: Equipamentos utilizados – EMBRASUL.....	47
Figura 4.3: Estrutura básica do método do diagnóstico energético.....	48
Figura 5.1: Comportamento da Demanda – Instalação Industrial A.....	55
Figura 5.2: Comportamento da Demanda – Instalação Industrial B.....	57
Figura 5.3: Comportamento da Demanda – Instalação Industrial C.....	58
Figura 5.4: Comportamento da Demanda – Instalação Industrial D.....	60
Figura 5.5: Comportamento da Demanda – Instalação Industrial E.....	61
Figura 5.6: Análise do índice de carregamento: compressor de ar comprimido.....	67
Figura 5.7: Análise do índice de carregamento: empacotadeira.....	68

Figura 5.8: Análise do índice de carregamento: motores da caldeira (Instalação B).....	69
Figura 5.9: Análise do índice de carregamento: motores da caldeira (Instalação C).....	70
Figura 5.10: Análise do índice de carregamento: compressor de ar comprimido.....	71
Figura 5.11: Análise do índice de carregamento: compressores de frio.....	72
Figura 5.12: Análise do índice de carregamento: motores de uma estufa.....	73
Figura 5.13: Análise do índice de carregamento: motores da linha do <i>pig beef</i> .....	74
Figura 5.14: Análise do índice de carregamento: motores do condensador.....	75
Figura 5.15: Análise do índice de carregamento: bomba de circulação de água I.....	76
Figura 5.16: Análise do índice de carregamento: bomba de circulação de água II.....	77
Figura 5.17: Análise do índice de carregamento: motores da câmara de refrigeração.....	78
Figura 5.18: Análise do índice de carregamento: motor do ar condicionado.....	79
Figura 5.19: Análise do índice de carregamento: motores da caldeira (Instalação E).....	80
Figura 5.20: Análise do índice de carregamento: motores da linha – Produto A.....	81
Figura 5.21: Análise do índice de carregamento: motores da linha – Produto B.....	82
Figura 5.22: Análise do índice de carregamento: motores do sistema de água gelada.....	83
Figura 5.23: Análise do índice de carregamento: compressor de ar comprimido.....	84
Figura A.1: ESB – SAGA 4000.....	95
Figura A.2: ESB – SAGA 4500.....	96
Figura A.3: Analisador RE 6081 e cabos de tensão.....	98
Figura A.4: Analisador RE 6000.....	99

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (A).....	33
Tabela 3.2: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (B).....	35
Tabela 3.3: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (C).....	40
Tabela 3.4: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (D).....	42
Tabela 3.5: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (E).....	44
Tabela 5.1: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial A.....	54
Tabela 5.2: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial B.....	56
Tabela 5.3: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial C.....	57
Tabela 5.4: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial D.....	59
Tabela 5.5: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial E.....	61
Tabela 5.6: Fatores de cargas das instalações industriais.....	62
Tabela 5.7: Consumos específicos das instalações industriais.....	64
Tabela 5.8: Preços médios de energia.....	64
Tabela 5.9: Potencial de redução da potência instalada.....	85

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta Tensão
AVA	Acionadores de Velocidade Ajustável
BEN	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEC	Custo da Energia Economizada
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CME	Custo Marginal de Expansão
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
DHT	Distorção Harmônica Total
EERE	<i>Energy Efficiency and Renewable Energy</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	<i>Energy Save Company</i> (Empresa de Serviços em Conservação de Energia)
EUA	Estados Unidos da América
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
FCO	Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste
FCfp	Fator de Carga fora de ponta
FCp	Fator de Carga na ponta
FEMP	<i>Federal Energy Management Program</i>
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNO	Fundo Constitucional de Financiamento do Norte
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GWh	Gigawatt hora
HVAC	<i>Heating, ventilation, and air-conditioning equipment</i>
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética

LED	<i>Light Emission Diode</i>
M&V	Medição e Verificação
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
NIPE	Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético
PDE	Plano Decenal de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIMVDE	Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROESCO	Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
ROL	Receita Operacional Líquida
SIN	Sistema Interligado Nacional
TI	Tecnologia da Informação
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
VSD	<i>Variable Speed Drive</i> (Tecnologia de Velocidade Variável)



# SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivo.....	05
1.2 Estrutura da dissertação.....	05
2 ASPECTOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL E O SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO.....	07
2.1 Eficiência energética.....	07
2.1.1 Barreiras para a eficiência energética no mercado brasileiro.....	09
2.2 O Setor industrial brasileiro.....	11
2.2.1 Consumo de energia elétrica do setor industrial.....	12
2.2.2 Eficiência energética no setor industrial brasileiro.....	14
2.2.3 Barreiras para a eficiência energética na indústria brasileira.....	17
2.3 Protocolo Internacional de Medição e Verificação (M&V) da EVO e o Guia de M&V da Eletrobrás.....	18
3 SEGMENTO INDUSTRIAL DE ALIMENTOS E BEBIDAS.....	23
3.1 Aspectos gerais do segmento.....	23
3.2 Consumo de energia elétrica no segmento industrial de alimentos e bebidas.....	26
3.3 Eficiência energética no segmento industrial de alimentos e bebidas.....	29
3.4 Instalações industriais participantes do estudo.....	31
3.4.1 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial A.....	32
3.4.1.1 Locais e período das medições.....	33
3.4.2 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial B.....	33
3.4.2.1 Locais e período das medições.....	35
3.4.3 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial C.....	35
3.4.3.1 Locais e período das medições.....	40
3.4.4 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial D.....	40

3.4.4.1 Locais e período das medições.....	42
3.4.5 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial E.....	42
3.4.5.1 Locais e período das medições.....	44
4 DIAGNÓSTICO DO USO DA ENERGIA ELÉTRICA E INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	45
4.1 Equipamentos utilizados para medições dos parâmetros de energia elétrica.....	46
4.2 Método do diagnóstico do uso da energia elétrica.....	47
4.3 Análise do enquadramento tarifário.....	48
4.4 Aplicação do Guia Nacional de M&V.....	49
4.5 Fator de carga das instalações industriais (FC).....	50
4.6 Consumo específico de energia elétrica (CE) e preço médio da energia elétrica (PM <sub>E</sub> ).....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5.1 Análises dos enquadramentos tarifários e demandas contratadas.....	54
5.1.1 Instalação industrial A.....	54
5.1.2 Instalação industrial B.....	55
5.1.3 Instalação industrial C.....	57
5.1.4 Instalação industrial D.....	59
5.1.5 Instalação industrial E.....	60
5.2 Fator de carga das instalações industriais (FC).....	62
5.3 Consumos específicos das instalações industriais (CE).....	63
5.4 Preço médio de energia (PM <sub>E</sub> ).....	64
5.5 Análises dos índices de carregamento dos principais motores elétricos.....	65
5.5.1 Instalação industrial A.....	66
5.5.2 Instalação industrial B.....	69
5.5.3 Instalação industrial C.....	70
5.5.4 Instalação industrial D.....	76
5.5.5 Instalação industrial E.....	78
5.6 Análise do potencial de redução da potência instalada das instalações industriais....	85
5.7 Novas tecnologias na indústria para a redução do consumo de energia elétrica.....	86
6 CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES.....	89
Referências.....	92

ANEXO A – Especificações técnicas dos analisadores de energia utilizados para as medições...95

# 1 INTRODUÇÃO

Os eventos que despertaram as preocupações com a questão energética foram as crises do preço do petróleo nos anos de 1973 e 1979. Essa preocupação se deu em nível mundial e muitos Países se empenharam em encontrar soluções energéticas que não fossem dependentes de fontes fósseis, principalmente do petróleo. No caso brasileiro não foi diferente.

Desde então, o governo federal, através de parcerias com institutos de pesquisas, universidades, empresas privadas e de seus próprios ministérios, promove a racionalização do uso da energia nos setores residencial, comercial, industrial, transportes, público, dentre outros.

Para isso, foram desenvolvidos alguns programas no intuito de difundir informações e práticas, promovendo o uso racional da energia. Dentre estes programas, podem ser citados o CONSERVE, CONPET, PROCEL e os Programas de Eficiência Energética (PEEs) das concessionárias distribuidoras de energia elétrica, supervisionados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O programa CONSERVE foi lançado pelo governo federal em 1981, com o objetivo de estimular a conservação e a substituição de óleo combustível consumido na indústria, constituindo-se no primeiro esforço significativo na direção da conservação de energia no País (JANNUZZI *et al*, 2004, p.3). Essa substituição deveria ser feita por energia elétrica de origem hidráulica. Porém, neste período, o que se verificou foi a predominância de um enfoque na substituição energética, ao invés da preocupação primordial de conservação de energia.

Outro programa é o CONPET, criado em junho de 1991. É um programa do Ministério de Minas e Energia, coordenado e executado pela Petrobrás (CONPET, 2010). O objetivo deste programa é incentivar o uso eficiente das fontes de energias provenientes dos derivados do petróleo e gás natural nos setores de transporte, residencial, comercial, industrial e agropecuário.

O CONPET tem um papel fundamental, em especial no caso brasileiro, pois o País é altamente dependente de derivados de petróleo no setor de transporte de cargas e passageiros,

com um consumo significativo em relação ao consumo nacional e um potencial relevante de economia de energia.

O PROCEL foi criado em 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio. Em 18 de julho de 1991, foi transformado em Programa de Governo, tendo suas abrangência e responsabilidades ampliadas. Seu objetivo é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética. É executado pela Eletrobrás, com recursos da empresa e da Reserva Global de Reversão (RGR). Utiliza, também, recursos de entidades internacionais (PROCEL, 2010).

O PROCEL se subdivide em diversos subprogramas, cada um com objetivos específicos. São exemplos destes subprogramas: o PROCEL Sanear; PROCEL Educação; PROCEL Indústria; Selo PROCEL<sup>1</sup>.

Por fim, citam-se os Programas de Eficiência Energética das empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica. Estas empresas são obrigadas a aplicar (de acordo com a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000), anualmente, o montante de 1% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e em programas de eficiência energética, sendo que, em 2005, ficou definido que a aplicação será de 0,5% em cada uma das referidas áreas. A Lei nº 11.465 de março de 2007 prorroga esta porcentagem de aplicação até 31 de dezembro de 2010. Ou seja, até este prazo as concessionárias devem continuar investindo 0,5% em P&D e 0,5% em programas de eficiência energética. Destaca-se ainda que, no caso dos programas de eficiência energética, 0,25% do montante destinado a estes programas devem ser direcionados para consumidores de baixa renda.

Através destes programas, visa-se demonstrar para a sociedade a importância de ações com foco no combate ao desperdício de energia elétrica, assim como o acréscimo de eficiência energética de equipamentos e processos. Ou seja, pretende-se estimular o desenvolvimento de novas tecnologias, mais eficientes energeticamente, como também criar hábitos voltados para o uso racional da energia elétrica.

---

<sup>1</sup> Para mais informações, consultar: <http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?View={EE50CFB3-CA51-415F-A861-E49BD2A2C6FE}>. Acesso em: Março de 2010.

Contudo, estas ações do governo não foram suficientes para suprir a necessidade eletroenergética do País. Isso porque, após a criação dos principais programas acima citados, o Brasil passou por um período crítico no fornecimento de energia elétrica e que culminou no racionamento deste insumo no ano de 2001.

As ações que visam promover a eficiência energética podem ser uma alternativa para a sociedade no atendimento parcial da expansão da oferta de energia. A crise no abastecimento de energia elétrica ocorrida no Brasil em 2001 mostrou que é possível, através de investimentos em eficiência ou conservação de energia, contribuir para o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia elétrica. Nesse contexto, o usuário é uma peça fundamental, pois ele pode contribuir de forma decisiva na redução dos desperdícios no uso da energia elétrica.

Diante do exposto, percebe-se a importância da promoção de ações do lado da demanda para se evitar (ou postergar) investimentos no lado da oferta, eliminando-se os desperdícios e fazendo com que se utilize de maneira mais eficiente a energia elétrica.

Neste contexto é que se insere o conceito de eficiência energética, pois esta pode ser considerada uma estratégia eficaz para se mitigar os impactos socioambientais, assim como reduzir a taxa de expansão do sistema elétrico.

Deve ficar claro que o combate ao desperdício de qualquer forma de energia ganha importância diante da urgência do aumento da oferta de energia elétrica, tanto em relação aos resultados de curto prazo, a um custo competitivo se comparado com a ampliação da oferta através da construção de novas usinas, quanto em relação ao longo prazo (HADDAD *et al*, 2008, p.2).

Segundo Marques *et al* (2007), a conservação de energia<sup>2</sup>, do ponto de vista socioeconômico, tanto no uso final como na oferta de energia, baseia-se em duas ferramentas, para atingir sua meta: mudanças de hábitos e eficiência energética. Esta última, por sua vez, pode ser obtida basicamente através de duas maneiras: a primeira via inovação tecnológica e a segunda por meio de novas formas de gestão do processo produtivo.

---

<sup>2</sup> Este termo é muito usado na bibliografia para expressar a idéia do uso racional da energia, buscando a eliminação dos desperdícios através de várias ações.

No primeiro caso, podem-se citar as lâmpadas e motores mais eficientes, novos eletrodomésticos e sistemas de automação, que são capazes de racionalizar a geração, transporte e distribuição de energia, novos dispositivos eletrônicos de administração da carga pelo lado da demanda e tantos outros avanços tecnológicos que implicam em melhor uso da energia elétrica.

No segundo, citam-se os consumidores, a formação de agentes educadores e as ferramentas de marketing, com foco nas questões ambientais, como peças fundamentais na nova visão para a promoção da eficiência energética. Já é possível conseguir resultados significativos na economia de energia através da sensibilização dos usuários assegurada pela correta informação. Logo, “para o bom uso da energia, é necessário difundir informação e o conhecimento aplicado” (MARQUES *et al*, 2007, p. XIX).

Principalmente para os setores industrial e o comercial, a energia é um insumo básico e essencial. Além disso, como nem sempre é possível reduzir os gastos com os demais insumos de produção, uma alternativa é agir no sentido de reduzir o valor das faturas de energia elétrica, água e gás, como forma de se manter no mercado, reduzindo os custos operacionais e, com isso, reduzir o preço final do produto, ou serviço prestado.

Portanto, para a promoção da eficiência energética, é necessária a aplicação de técnicas, métodos e conceitos de diversas áreas, como administração, economia e engenharias, no planejamento e operação dos sistemas energéticos e, assim, determinar ações que aperfeiçoem os processos, aumentando o desempenho dos sistemas e reduzindo as perdas e os desperdícios desde a geração, transmissão e distribuição dos insumos energéticos.

Ressalte-se, por fim, que a energia é um dos raros (senão único) elementos da natureza que não possui outros substitutos senão ela própria, sem a qual os processos não se desenvolvem.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo desta dissertação foi quantificar o potencial de eficiência energética (com foco na energia elétrica) em instalações industriais do segmento de alimentos e bebidas, através de uma amostra do segmento na região Sudeste no Brasil, a fim de determinar os possíveis ganhos com as ações de eficiência energética.

## **1.2 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação foi dividida em seis capítulos. O Capítulo 2 aborda aspectos gerais da eficiência energética no Brasil, assim como o setor industrial brasileiro. Inicialmente, apresenta-se o conceito de eficiência energética e mostram-se as principais barreiras para a implantação de ações que visem o aumento da eficiência energética no mercado brasileiro. Em seguida, caracteriza-se o setor industrial brasileiro, focando nas informações de consumo de energia elétrica deste setor, ações de eficiência energética, assim como as barreiras para o desenvolvimento destas no referido setor. Encerra-se o capítulo apresentando o Protocolo Internacional de Medição e Verificação (M&V) da EVO, e o Guia Nacional de M&V da Eletrobrás.

O Capítulo 3 caracteriza o segmento industrial de alimentos e bebidas, foco desta dissertação, além de apresentar as instalações industriais participantes da pesquisa. Após contextualizar o segmento, mostrando aspectos relacionados ao consumo de energia elétrica e ações de eficiência energética, relacionam-se os processos produtivos e a estrutura de cada empresa participante. Além disso, apresentam-se informações referentes aos locais, períodos e equipamentos utilizados para a realização de medições em campo, sendo estas realizadas com o objetivo de investigar o comportamento do uso da energia elétrica em cada instalação industrial.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada na dissertação. São apresentados, sucintamente, os equipamentos utilizados para as medições em campo, posteriormente apresenta-se o método do diagnóstico do uso da energia elétrica, a análise do enquadramento tarifário, a



aplicação do Guia Nacional de M&V e, por fim, os indicadores de eficiência energética, como o fator de carga, consumo específico de energia elétrica e o preço médio da energia elétrica.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e a discussão desta dissertação. Aqui, são realizadas as análises dos conteúdos relacionados no Capítulo 4, em cada instalação industrial participante, além das análises dos índices de carregamento dos principais motores elétricos ou conjunto destes (como exemplo, a análise de uma linha inteira de produção). Após esta etapa, apresenta-se ainda o potencial de redução da potência instalada das empresas participantes e, por fim, relacionam-se novas tecnologias na indústria para a redução do consumo de energia elétrica.

E, por último, o Capítulo 6 apresenta as conclusões e as recomendações para futuros trabalhos.

## 2 ASPECTOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL E O SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO

### 2.1 Eficiência energética

Alguns dos conceitos fundamentais inseridos no contexto da eficiência energética e conservação de energia são: energia, uso eficiente de energia elétrica, Primeira e Segunda lei da Termodinâmica<sup>3</sup>. Como não é o foco desta discussão, recomenda-se uma consulta, se necessário, ao material referenciado para maiores informações sobre tais conceitos.

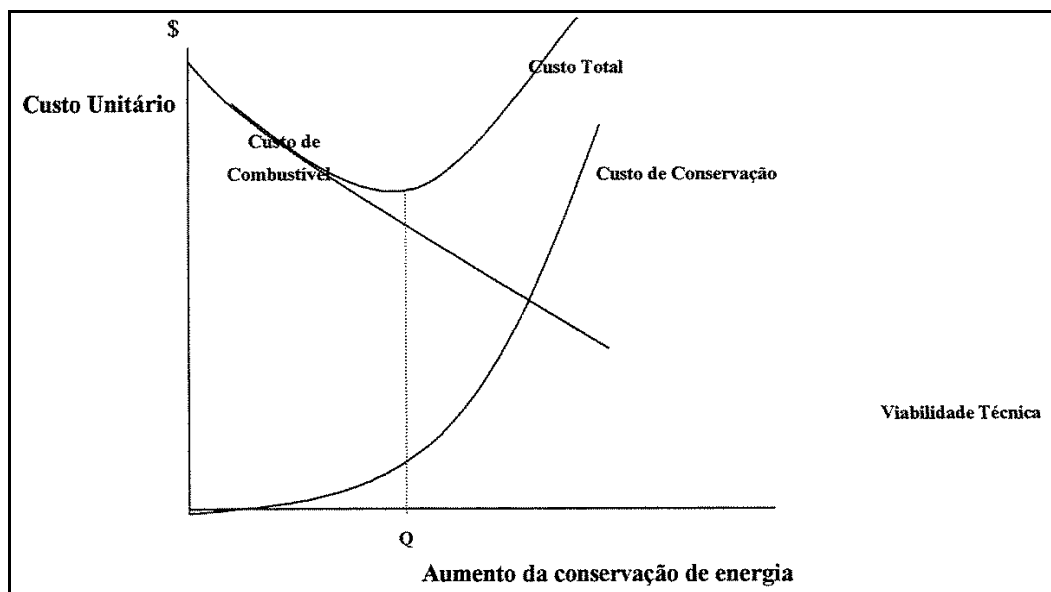
A eficiência energética de um processo pode ser entendida, com base na Primeira Lei da Termodinâmica, como a razão entre a energia que sai do processo e a energia que entra nele.

Segundo Hu (1985) *apud* Yoshino (2003, p.07), as ações para a efficientização energética são baseadas em dois princípios: o da máxima eficiência termodinâmica no uso da energia e o da máxima eficiência do capital no uso da energia. O primeiro trata dos limites termodinâmicos, permitindo a avaliação do trabalho máximo possível (ou mínimo requerido). O segundo está associado à solução de compromisso imposta pela economia. Aqui o objetivo é que o uso eficiente da energia se dê com o menor custo. Na prática, essas ações de racionalização do uso da energia se justificam até o ponto em que a unidade de energia conservada ou evitada tem seu custo igual ao da unidade de energia suprida.

Deve-se lembrar que o custo da energia é concorrente aos custos das medidas de racionalização deste insumo. A solução econômica ótima é um resultado geralmente muito abaixo do potencial técnico, ou seja, do potencial que está associado ao que é factível de ser viabilizado com as tecnologias comercialmente disponíveis (HU, 1985 *apud* YOSHINO, 2003, p.08). A Figura 2.1 ilustra esta análise.

---

<sup>3</sup> Para saber mais consultar: Marques *et al* (2006) e Halliday & Resnick (Fundamentos da Física, Vol. 1 e 2)



**Figura 2.1: Máxima eficiência do capital no uso racional de energia**

Fonte: Hu (1983) *apud* Yoshino (2003, p.9).

Na Figura 2.1, verifica-se que o ponto ótimo econômico (ponto Q) corresponde ao mínimo custo unitário total (custo por unidade de energia), considerando o custo unitário da energia consumida, ou custo do combustível, e os custos associados às tecnologias de racionalização (custo de conservação). Quanto mais se aproveita o potencial, mais se conserva energia, diminuindo a parcela do custo da energia consumida (em função do menor consumo) e aumentando o custo das medidas de racionalização.

Além do potencial técnico e econômico, Ressalte-se que a eficiência energética é capaz de promover o potencial social, que representa os ganhos economicamente viáveis quando externalidades como os impactos ambientais são considerados. O incremento da eficiência tanto na conversão como no uso final da energia resulta, portanto, em benefícios para a sociedade e para o meio ambiente, uma vez que reduzindo o consumo de energia, minimizam-se os impactos socioambientais associados à geração, transmissão e distribuição de energia, por exemplo, no caso da energia elétrica.

Portanto, pode-se afirmar que o conceito de eficiência energética está baseado no conjunto de políticas e práticas capazes de aumentar a quantidade de energia ofertada, e/ou reduzir os gastos com energia, sem, necessariamente, ter que aumentar a geração deste insumo.

### **2.1.1 Barreiras para a eficiência energética no mercado brasileiro**

No Brasil existem diversas barreiras para a promoção de projetos em eficiência energética. Mesmo apresentando diversas vantagens (redução de custos, economia, pequeno prazo de retorno, etc.) ainda há dificuldades como, por exemplo, o acesso a financiamentos. Muitas vezes o consumidor de energia elétrica não tem capacidade financeira para arcar com o investimento necessário, ou não consegue atender todos os requisitos para a obtenção dos financiamentos bancários.

Segundo a ABESCO (2010), o Brasil apresenta hoje algumas linhas distintas de financiamento para projetos de eficiência energética no mercado brasileiro. São exemplos:

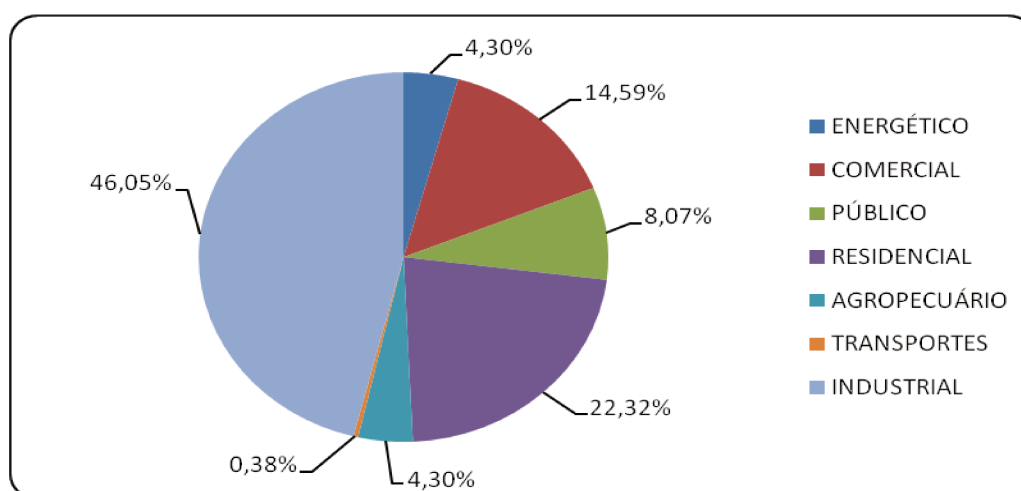
- Via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES): há duas linhas: o PROESCO e o FINEM. A primeira financia projetos que comprovadamente contribuam para a economia de energia e água, principalmente quando se utiliza equipamentos mais eficientes energeticamente (como lâmpadas, sistemas motrizes em geral, motores elétricos, dentre outros). A segunda financia projetos de implantação, expansão e modernização, incluída a aquisição de máquinas e equipamentos novos, de fabricação nacional, credenciados pelo BNDES, bem como a importação de maquinários e capital de giro associado.
- Através de Bancos Públicos e Privados.
- Através da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).
- Via fundos constitucionais de financiamento, como o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), que se dá através do Banco da Amazônia e apenas para a região Norte, assim como o Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO), dentre outros.
- Fundos particulares de investimentos, geralmente associados diretamente a uma ESCO.
- Concessionárias de energia elétrica.

São exemplos de barreiras existentes no mercado (INEE, 2001, p.10):

- **Falta de informação (conscientização)** – para a maioria dos consumidores é um assunto de pouca prioridade.
- **Custos de transação** – custos indiretos incorridos ao se adquirir um produto ou serviço de eficiência energética, incluindo tempo de gestão, materiais, mão-de-obra e consultores.
- **Difícil avaliação dos resultados econômicos** – dificuldade para se calcular os ganhos (pouco trivial para não especialistas), tanto pela desinformação do consumidor como pelas dificuldades de avaliar o realismo dos benefícios prometidos.
- **Falta de equipamentos eficientes, ou serviços adequados** – indisponibilidade e altos preços podem ser o resultado de práticas anticompetitivas para manter alguns produtos (ou produtores) fora do mercado, em benefício de outros que ofereçam lucro maior, ou outras vantagens.
- **Restrições financeiras** – equipamentos mais eficientes são geralmente mais caros. Mesmo conhecendo as vantagens econômicas do investimento inicial, o consumidor pode encontrar dificuldade em acessar os créditos, ou obtê-lo com juros elevados.
- **Distorções nos preços regulamentados dos energéticos** – como exemplos do setor elétrico estão o preço exagerado da ponta e a grande disparidade dos preços entre tensões.

## 2.2 O Setor industrial brasileiro

Sabe-se que o setor industrial é um dos principais setores da economia brasileira, influenciando diretamente no equilíbrio econômico (importações, exportações, arrecadação, etc.), assim como na sociedade (empregos diretos e/ou indiretos e promoção de programas socioambientais). Além disso, é responsável por quase metade do consumo final de energia elétrica do País, como ilustrado na Figura 2.2.



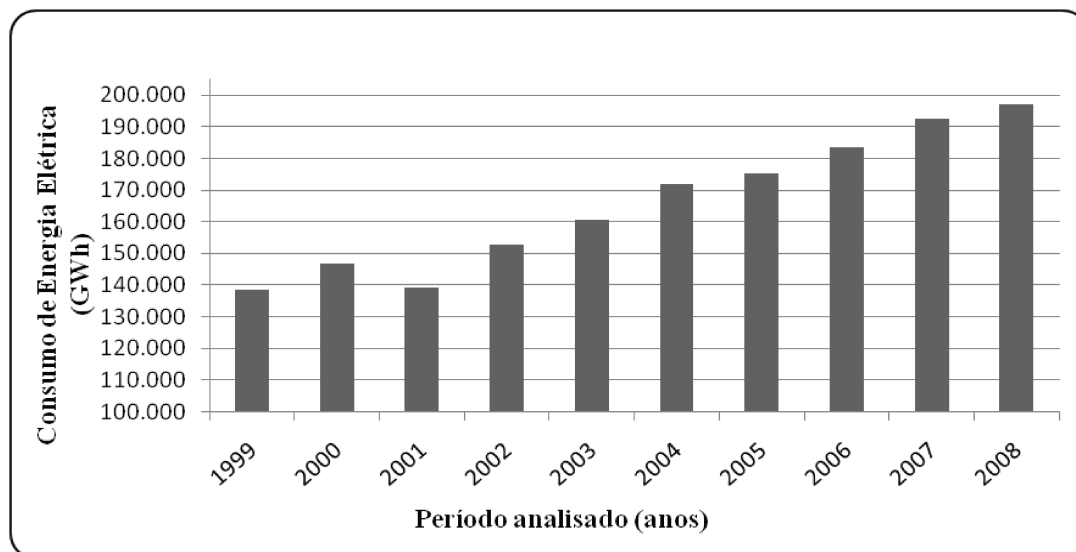
**Figura 2.2: Distribuição do consumo final de energia elétrica no Brasil**

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2009, p. 62).

Isso demonstra a importância do desenvolvimento de trabalhos no sentido de analisar o consumo energético deste setor e, em especial, de energia elétrica. Além de ser o setor que mais consome energia elétrica no País, o setor industrial é um campo fértil de oportunidades para a realização de projetos de eficiência energética e, também, de conservação de energia, conforme mostrado detalhadamente ao longo desta dissertação.

### 2.2.1 Consumo de energia elétrica do setor industrial

A Figura 2.3 ilustra a evolução do consumo de energia elétrica do setor industrial no período de 1999 a 2008.



**Figura 2.3: Evolução do consumo industrial de energia elétrica no Brasil**

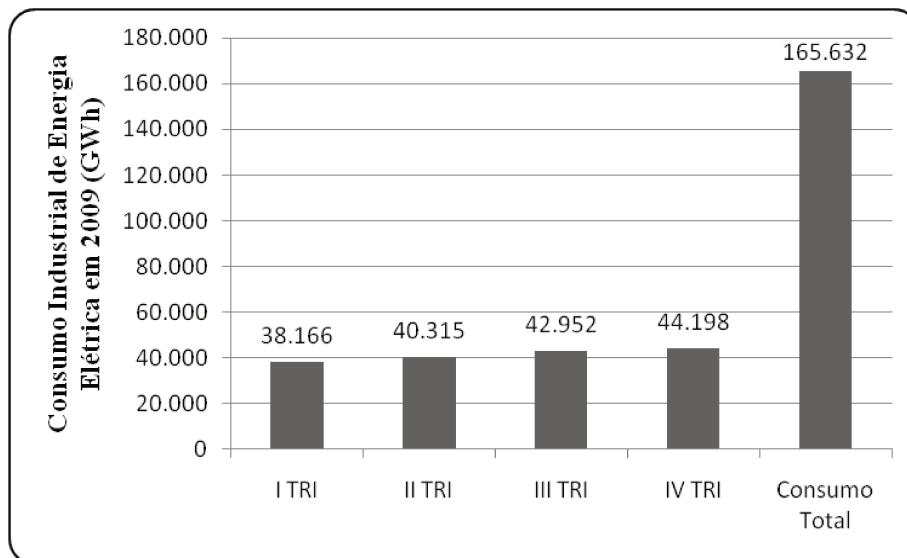
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2009, p. 62).

Na Figura 2.3, constata-se que, com exceção do ano de 2001 (devido ao racionamento instituído), o consumo de energia elétrica no setor industrial esteve em constante expansão. Porém, com a última grande crise econômica, iniciada no final de 2007 e com reflexos no Brasil em 2008 e principalmente em 2009, este setor sofreu uma retração considerável, principalmente as empresas exportadoras.

Diante desta crise, ficou evidente a importância que diferentes setores da economia têm dado ao uso mais eficiente da energia elétrica, não apenas por imposições de leis, mas sim por entenderem que o uso racional de energia traz inúmeros benefícios, evitando assim desperdícios de materiais (insumos) e também o financeiro.

Dados divulgados em janeiro de 2010 pela EPE confirmam que o consumo industrial nacional foi de 165.632 GWh em 2009, indicando retração de 8% em relação a 2008. Mesmo

com esta retração, é importante destacar que o consumo industrial mostrou recuperação ao longo do ano, como mostra a Figura 2.4.



**Figura 2.4: Consumo industrial de energia elétrica no Brasil em 2009 (GWh)**

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica – Nº 28 – Jan/2010 (EPE, 2010).

Outro aspecto que merece destaque é o aumento da autoprodução no setor, para o atendimento ao consumo de energia elétrica. Este tipo de geração reduz a necessidade de geração convencional por parte do sistema elétrico, uma vez que as centrais elétricas autoprodutoras se localizam, por definição, junto às unidades de consumo, evitando assim perdas no transporte de energia. E mais, a autoprodução é capaz de deslocar o consumo, o qual seria atendido pela rede convencional e, conseqüentemente, desloca uma parcela da carga potencial para fora do Sistema Interligado Nacional (SIN). Foi uma estratégia utilizada por algumas indústrias durante o racionamento de 2001 para suprir as necessidades energéticas.



## 2.2.2 Eficiência energética no setor industrial brasileiro

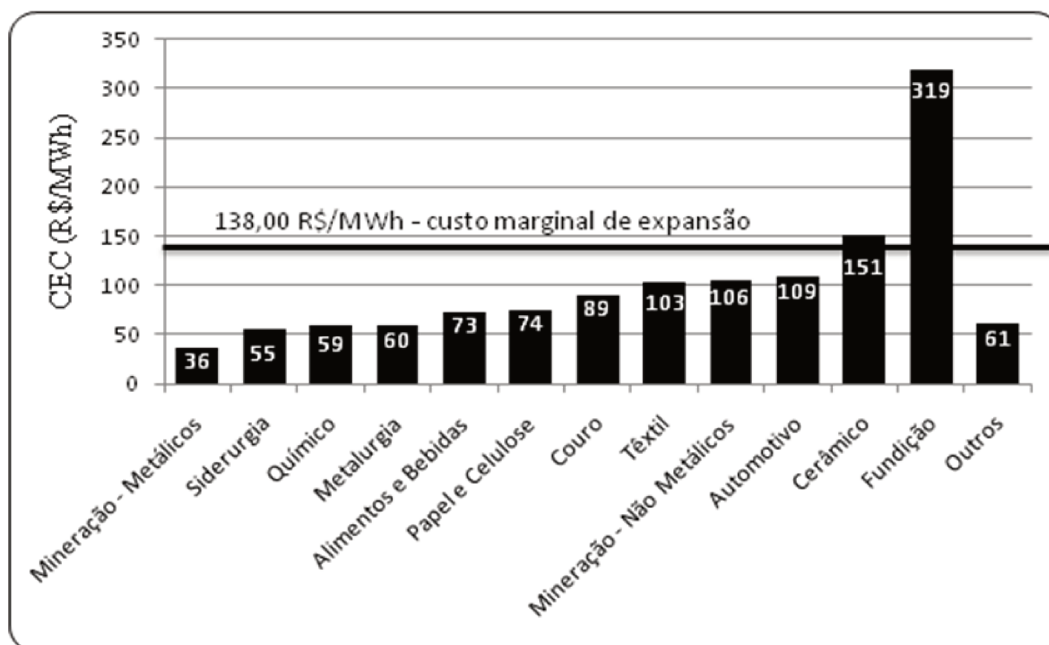
A Confederação Nacional da Indústria (CNI) e a ELETROBRÁS/PROCEL Indústria, elaboraram um diagnóstico detalhando as principais oportunidades e prioridades para o desenvolvimento do mercado de eficiência energética industrial no Brasil. Este estudo caracterizou a experiência nacional em eficiência energética neste setor. Nele ficou evidente que as empresas que se preocupam em investir em projetos de eficiência energética são capazes de economizar recursos, conseqüentemente, ganham competitividade e conseguem postergar parte de investimento no aumento da oferta de energia, permitindo ao governo e também aos próprios empresários liberarem recursos para outras prioridades, sem perder a qualidade, a segurança no abastecimento e obtendo ganhos socioambientais (CNI/ELETROBRÁS/PROCEL, 2009, p.2-3).

O estudo analisou 217 projetos de eficiência energética no setor industrial, realizados nos últimos 10 anos, em 13 segmentos distintos. Em todos estes projetos, foi investido um total de R\$ 161 milhões, gerando uma economia de 626 GWh, o que representa um Custo da Energia Conservada (CEC<sup>4</sup>) de R\$ 79/MWh (*Informações sobre o Cálculo do Custo Evitado podem ser obtidas no Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, 2008, p. 46-47*). Comparando este valor ao Custo Marginal de Expansão (CME) do sistema de energia elétrica, o qual é estimado em R\$ 138/MWh (PDE, 2007, p.118), pode-se afirmar que a eficiência energética é uma alternativa viável. Com essas ações é possível que a mesma quantidade de energia seja disponibilizada, porém a preços menores, sem a necessidade de ampliação do lado da oferta, contribuindo para se postergar os impactos ambientais e sociais.

A Figura 2.5 apresenta o valor médio da energia conservada, por segmento industrial. A constante representa o valor do CME. Observa-se que, para alguns segmentos (como fundição e cerâmica), o retorno econômico do investimento em eficiência energética é inviável. Porém, os projetos poderão se tornar viáveis caso o prazo de retorno passe a ser maior do que os 10 anos considerados (CNI/ELETROBRÁS/PROCEL, 2009, p.3).

---

<sup>4</sup> Utilizando como premissas a duração média das ações de eficiência de 10 anos e uma taxa de remuneração do capital de 12% ao ano (segundo informações do próprio estudo).



**Figura 2.5: Custo de energia conservada por segmento industrial**

Fonte: Adaptado de CNI/ELETROBRÁS/PROCEL (2009, p.4).

Constata-se que dos 13 segmentos industriais apresentados na Figura 2.5, apenas dois se enquadram como inviáveis dentro das premissas consideradas, mostrando assim que, em aproximadamente 85% dos casos, os projetos de eficiência energética são viáveis, mesmo com um tempo de retorno de 10 anos.

Em relação às tendências setoriais dos projetos de eficiência energética, desenvolvidos nos diversos segmentos industriais analisados, podem-se resumir, a seguir, ainda com base no estudo da CNI/Eletróbrás, as principais medidas de eficiência energética que tem sido adotadas:

- Alimentos e Bebidas: utilização de inversores de frequência em túneis de resfriamento, substituição de fornos em padarias e uso de compressores VSD<sup>5</sup>
- Têxtil: eficiência de filatórios
- Siderurgia integrada: projetos de cogeração
- Metalurgia: uso de compressores VSD
- Automotivo: uso de compressores VSD e válvulas *inteliflow*

<sup>5</sup> VSD = em português significa tecnologia de velocidade variável. Disponível em: (<http://www.atlascopco.com.br/brbr/news/productnews/gainew.asp>). Acesso em fevereiro de 2010.

- Papel e celulose: bombeamento com inversores e recuperação de calor
- Mineração de metálicos: modificações nos ciclones no processo e uso de inversores em correias transportadoras
- Fundição: potencial de recuperação de calor para outros fins.

Os investimentos em projetos de eficiência energética no setor industrial, no período de 1999 a 2006, segundo dados da CNI/Eletróbrás/PROCEL (2009, p.7) foram ínfimos. Neste período, estima-se que as indústrias brasileiras pagaram R\$ 157 bilhões em consumo de energia elétrica e que as concessionárias de energia elétrica aplicaram R\$ 147 milhões em eficiência energética, ou seja, 0,09% do total pago. Esse valor corresponde somente a recurso proveniente do Programa de Eficiência Energética – PEE da ANEEL, o qual é formado pela destinação de 0,5% da Receita Operacional Líquida – ROL da maioria das concessionárias e deve ser aplicado em projetos de eficiência energética aprovados pela ANEEL. Porém, a metade desse valor (0,25% da ROL) deve ser direcionado obrigatoriamente aos consumidores de baixa renda.

Portanto, constata-se que, apesar da existência de algumas iniciativas, o setor industrial não é prioridade nos esforços governamentais de eficiência energética. As iniciativas existentes ainda são pequenas em relação ao potencial existente na indústria para a realização de projetos de eficiência energética. Deve haver uma maior interação entre os agentes (governo, federações, empresários) para que se estabeleçam metas concretas, priorizem os recursos e, assim, possam ser estabelecidas estratégias que trarão resultados positivos para o setor industrial.

Segundo Le Goff (1979) *apud* Yoshino (2003 p.10), pode-se classificar as ações voltadas para a eficiência energética dentro do horizonte temporal, em função das dificuldades de implantação. Em relação ao setor industrial, essas ações são classificadas em:

1. **Ações imediatas**, que correspondem à redução de desperdícios, que podem ser obtidas a partir da conscientização dos operadores e da gerência, isto é, usuários diretos e gestores do processo,
2. **Ações em curto prazo**, que requerem, por exemplo, a mudança dos procedimentos, visando à melhoria do rendimento operacional de equipamentos,
3. **Ações em médio prazo**, que afetam, por exemplo, a engenharia de processo e requerem maiores investimentos. Exemplo é a instalação de recuperadores térmicos, o incremento

em automação de equipamentos e a substituição de processos descontínuos por operações contínuas,

4. **Ações em longo prazo**, voltadas à reutilização, a reciclagem e ao uso integrado de recursos, como a cogeração,
5. **Ações em longo prazo**, voltadas às mudanças na concepção dos produtos, através do desenvolvimento de materiais que requerem menor consumo de energia e que, também, permitem a preservação de recursos renováveis,
6. **Ações em muito longo prazo**, que requerem a mudança de hábitos e a revisão de prioridades individuais. A transformação dos padrões de consumo é, em outras palavras, o objetivo final.

### **2.2.3 Barreiras para a eficiência energética na indústria brasileira**

São apresentadas nesta seção as principais barreiras que impedem o potencial de eficiência energética se tornar efetivo no segmento industrial. Para tal, serviu de base a pesquisa realizada pelo estudo da CNI/Eletróbrás/PROCEL (2009, p.11) com profissionais de vários setores industriais que trabalham com o consumo de energia. Segundo estes, são exemplos de barreiras:

- Legislação desfavorável a investimentos industriais em energia
- Ausência, ou não adequação das linhas de financiamento para ações de eficiência energética
- Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimento
- Necessidade de capacitação de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis, e
- Aversão a riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias que consumam menos energia.

### **2.3 Protocolo Internacional de Medição e Verificação (M&V) da EVO e o Guia de M&V da Eletrobrás**

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético – PIMVDE é patrocinado pela Efficiency Valuation Organization – EVO, instituição privada e sem fins lucrativos. Surgiu através de um grupo de voluntários motivados pelos baixos investimentos em projetos de eficiência energética devido às incertezas relacionadas às economias futuras a serem obtidas por meio dessas ações (PROCEL INFO, 2007).

Este protocolo é um documento de apoio que descreve as práticas comuns de medição, cálculo e economia obtidos por projetos de eficiência energética, ou consumo eficiente de água nas instalações do usuário final. Nele constam quatro opções de medição e verificação (M&V) para avaliar, de forma segura, os resultados obtidos por um projeto.

O PIMVDE não é uma norma ou diretriz obrigatória, menos ainda um manual de instruções e, por isso, não existe um mecanismo de conformidade formal para este documento. Ele deve ser encarado como um manual de boas práticas a ser aceito por todas as partes envolvidas, o qual estabelece as bases para uma boa avaliação de projetos de eficiência energética. A adesão ao PIMVDE requer a preparação para um projeto específico de um plano M&V, que seja consistente com a terminologia do PIMVDE (EVO, 2007).

Além do protocolo da EVO, existem outros protocolos, porém todos em caráter complementar ao PIMVDE. Segundo informações do PROCEL INFO (2007), tem-se o Federal Energy Management Program – FEMP<sup>6</sup>, que é um protocolo complementar ao PIMVDE, desenvolvido especificamente para edificações públicas federais dos Estados Unidos.

Há também o Guia ASHRAE<sup>7</sup> 14P, novamente em caráter complementar ao PIMVDE e que oferece detalhes sobre a implantação de um Plano de Medição e Verificação, sob a estrutura

---

<sup>6</sup> O guia FEMP pode ser encontrado gratuitamente no site do EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy. Disponível em: [http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/mv\\_guidelines.pdf](http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/mv_guidelines.pdf). Acesso em fevereiro de 2010;

<sup>7</sup> O guia ASHRAE pode ser adquirido (com custo) no site: <http://www.ashrae.org/publications/page/1285>, na seção denominada “Quickly Locate Standards & Guidelines”. Acesso em fevereiro de 2010;

do PIMVDE. Este documento exige a medição de todos os parâmetros em sua Opção A, ao contrário do PIMVDE, o qual exige a medição de, ao menos, um.

A Medição e Verificação (M&V) é uma metodologia para comprovar os resultados de economia em energia e custos, devido a ações de eficiência energética, em geral resultantes de trocas ou *retrofits*<sup>8</sup> de equipamentos, em muitos casos utilizando técnicas estatísticas para tais determinações (PROCEL INFO, 2007). Esta metodologia inicia-se com as atividades de uma ação de eficiência energética, com término previsto para o final da atividade de comprovação dos resultados. A integração da medição e verificação em uma empresa usualmente faz parte de um contrato de desempenho, ou documento equivalente, firmado entre uma ESCO (Energy Save Company - Empresa de Serviços em Conservação de Energia) e seu cliente.

A importância da metodologia de M&V se dá pela necessidade que os diretores das empresas têm em comprovar as economias financeiras (ou retorno de capital) em função de um determinado investimento, pois, desta maneira, conseguem tomar decisões baseados em fatos, em valores medidos e concretos, e não em estimativas.

O Guia de M&V elaborado pela Eletrobrás/PROCEL tem como objetivo facilitar a compreensão do primeiro volume do PIMVDE da EVO. A forma de apresentação do conteúdo é diferente do protocolo, porém a filosofia seguida é a mesma. Portanto, quando se trata de questões energéticas, é evidente que devem ser realizadas medições para poder ser feito o gerenciamento, monitoramento e a tomada de decisões. Salienta-se que não existe um único plano de M&V para uma situação, ou seja, deve-se elaborar um para cada momento, pois para uma mesma situação, diferentes planos podem ser desenvolvidos, todos eles válidos (PROCEL INFO, 2007). O desenvolvimento de um plano de M&V depende de diversos fatores, como: simplicidade, custos, disponibilidades, entre outros.

A seguir estão relacionados alguns benefícios da M&V segundo o Guia da Eletrobrás/PROCEL:

---

<sup>8</sup> Termo muito usado em engenharia para designar substituição ou modernização de equipamentos. No guia de M&V da Eletrobrás é utilizado, conforme consta no glossário, como sinônimo de Ação de Eficiência Energética.

**Estimula uma melhor engenharia de projeto** → boas práticas de M&V, incorporadas a um projeto de eficiência, levam naturalmente a um melhor projeto de *retrofit*, visto que há uma verificação dos resultados obtidos baseada em medição e não em estimativas,

**Reduz os custos de financiamentos de projetos** → um dos componentes do custo dos projetos é ocasionado pelo risco do mesmo. Com a apresentação de um plano de M&V consistente, boa parte do risco é mitigada, permitindo a redução da parcela de custo referente ao mesmo,

**Detecta mudanças esperadas no consumo de energia** → é possível detectar mudanças no consumo de energia, desde que as variáveis de influência tenham sido consideradas no modelo matemático. Alterações inesperadas no consumo de energia, porém, não são detectadas pela M&V, sendo esta mais a função do *Monitoring and Targeting*<sup>9</sup>,

**Aumentam as economias de energia** → com os dados das medições, os gestores das empresas passam a controlar melhor o consumo de energia em suas instalações, permitindo-lhes ajustar a sua produção de modo a obter maiores economias, por um período mais prolongado e com menores variações ao longo do tempo,

**Ajuda a determinar a redução na emissão de gases de efeito estufa** → como na M&V ocorre primeiro a determinação da redução da energia consumida para, somente depois, calcular-se a economia pecuniária, é possível determinar a contribuição do projeto na redução dos gases de efeito estufa.

Em relação às opções de medição e verificação, o guia apresenta os quatro tipos que constam no PIMVDE, ficando a critério de quem irá planejar/projetar e/ou executar, determinar qual é a melhor opção para uma determinada situação. Os custos variam de acordo com cada opção, devido ao grau (maior ou menor) de utilização de recursos como medição, informática, etc. As quatro opções que constam no Guia são:

**Opção A – Retrofit parcialmente isolado** → Alguns parâmetros, mas não todos, podem ser estimados, ou seja, pelo menos um dos parâmetros de influência sobre o consumo deve ser

---

<sup>9</sup> É uma ferramenta de gestão energética.

Ver mais em: <http://www.em-ea.org/Guide%20Books/Book-1/1.8%20Monitoring%20&%20Targetting.pdf>. Acesso em: Março de 2010.

medido. Um exemplo de aplicação típica é o *retrofit* de um sistema de iluminação, onde a potência instantânea é medida e as horas de funcionamento são estimadas,

**Opção B – Retrofit isolado** → Todos os parâmetros de influência sobre o consumo devem ser medidos. Um exemplo de aplicação é o uso de inversor (ou conversor) de frequência em uma bomba. Um medidor é colocado por um período *pré-retrofit*, para determinar a *baseline*, e continuará a medir o consumo de energia *pós-retrofit*, por um determinado período,

**Opção C – Medição de toda a instalação** → A economia é determinada diretamente a partir do medidor principal de energia da concessionária, com medições curtas ou contínuas durante o período de *pós-retrofit*. Esta opção dificilmente poderá ser aplicada no setor industrial. Exemplo de aplicação: quando se instala um sistema múltiplo de gerenciamento de energia em um edifício, onde diversos controles e *retrofits* interagem entre si,

**Opção D – Simulação Calibrada** → É um modelo matemático que reflete o consumo de uma instalação, ajustado (calibrado) em relação aos registros de energia disponíveis. As economias são determinadas por meio de simulação do consumo de energia de alguns componentes, ou de toda a instalação. Exemplo: Instalação de um sistema múltiplo de gerenciamento de energia em um edifício, do qual não se podem obter dados consistentes para geração de uma base. Neste caso, o consumo *pós-retrofit* é determinado através dos medidores da concessionária e o consumo do ano base (*pré-retrofit*) é calibrado com base nestes dados após a implantação das medidas.

Após a escolha da opção de medição e verificação, devem-se determinar as economias obtidas (ou a serem obtidas). Para isso, é importante lembrar que **não é possível medir economia de energia**. Por definição, medição é a comparação com um padrão definido e existente. No caso de *retrofits*, para obtenção de maior eficiência energética o padrão de comparação é a instalação ex-ante, que deixa de existir após o mesmo, considerando que não existe mais um padrão contra o qual seja possível fazer uma comparação de consumo nas mesmas condições de uso. O que é feito na medição e verificação é o cálculo do consumo evitado com base nas medições ex-ante (*baseline*) e ex-post, através da equação 2.1 (PROCEL INFO, 2007):



$$\mathbf{S = B - P \pm ajustes} \quad (2.1)$$

na qual:

**S** = Consumo evitado,

**B** = Consumo na *baseline*, ajustado para as condições encontradas pós-*retrofit*,

**P** = Consumo de energia pós-*retrofit*,

**Ajustes** = São ajustes na *baseline* necessários quando da alteração de parâmetros que influenciam o consumo e que foram considerados na determinação da *baseline*.

Assim, é a partir do consumo evitado que se determina o custo evitado na base monetária (o custo financeiro), utilizando-se a base tarifária vigente. Portanto, esta dissertação tem como orientação para a realização das ações de eficiência energética propostas o Guia de M&V, que, por sua vez, é baseado no Protocolo Internacional de M&V da EVO. Isso padroniza as análises através de metodologia reconhecida mundialmente como forma de comprovação das economias, o que dá credibilidade aos resultados obtidos.

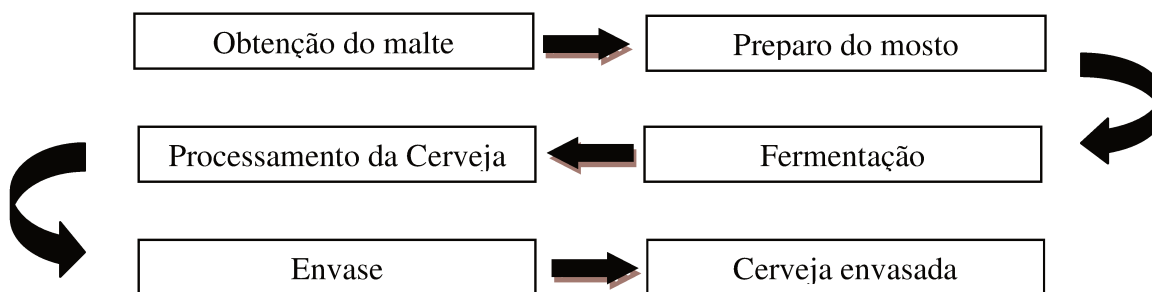
### 3 SEGMENTO INDUSTRIAL DE ALIMENTOS E BEBIDAS

#### 3.1 Aspectos gerais do segmento

Segundo BAJAY (2008) *apud* GORLA (2009), o segmento industrial de alimentos e bebidas é bastante diversificado, agregando mais de 850 tipos de produtos, em um universo de 42 mil plantas industriais no Brasil. E mais, pode-se dividir o segmento em diversas cadeias, tais como: bebidas alcoólicas (cerveja, cachaça, etc.), não alcoólicas (refrigerantes, sucos, etc.), abate e industrialização de carne, pasteurização e industrialização do leite, dentre outros. Além disso, a produção de rações e alimentos para animais, assim como a cadeia da produção do açúcar, também se enquadram dentro deste segmento.

Por ser um segmento muito heterogêneo, a seguir são descritos alguns processos produtivos, escolhidos aleatoriamente, como da indústria de cerveja, produtos lácteos e de industrialização de carne.

No caso da produção da cerveja, esta é obtida através da fermentação da cevada, que consiste na conversão em álcool dos açúcares presentes nos grãos de cevada. A fermentação é a principal etapa do processo cervejeiro. Após a fermentação são realizadas etapas de tratamento da cerveja, para conferir características desejadas no produto final, como sabor, odor e textura (CETESB, 2008). A Figura 3.1 ilustra as etapas genéricas da produção de cerveja.



**Figura 3.1: Etapas genéricas da produção de cerveja**

Fonte: Adaptado de CETESB, 2008.

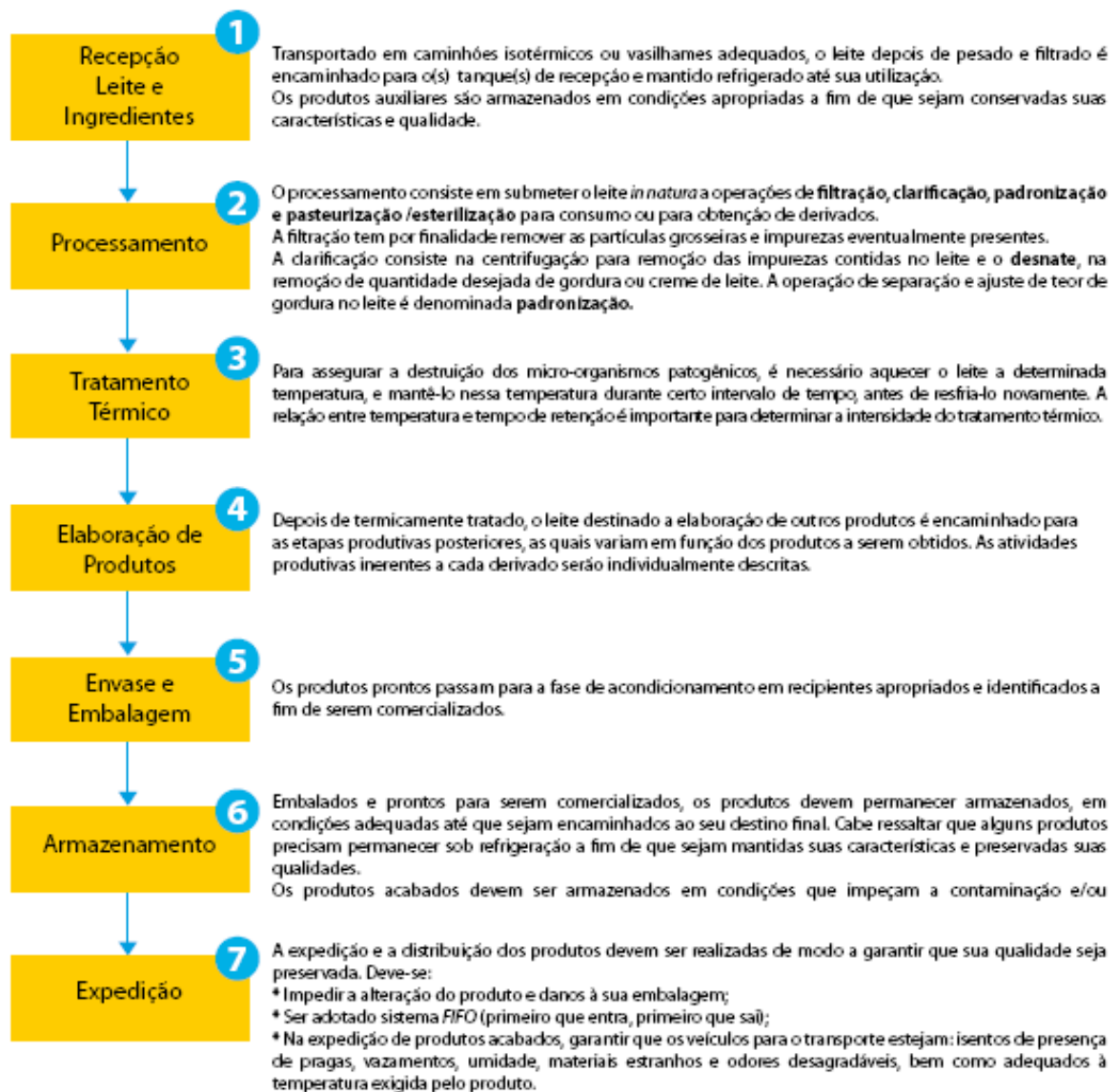
Ainda segundo a CETESB (2008), na indústria de cerveja, consome-se energia em duas formas basicamente: calor de processo, na forma de vapor, e energia elétrica. As principais etapas em consumo de calor numa cervejaria são:

- Preparação do mosto
- Fervura do mosto (etapa de maior consumo)
- Limpeza e desinfecção
- Lavagem de garrafas e barris
- Pasteurização.

No caso da energia elétrica, os principais usos são:

- Envase
- Instalações de refrigeração
- Planta de ar comprimido
- Planta de recuperação de CO<sub>2</sub>
- ETE
- Equipamentos de ar condicionado
- Demais sistemas (como de ventilação, iluminação e bombeamento)

Apesar de envolver um grande número de operações e atividades, em função dos diversos produtos a serem obtidos, podem-se citar as operações fundamentais e comuns a todos os processos produtivos da indústria de laticínios. A Figura 3.2 ilustra tais operações. Cumpre ressaltar que, nas seções 3.4.4 e 3.4.5, são ilustrados alguns fluxogramas de processos produtivos da indústria de produtos lácteos.

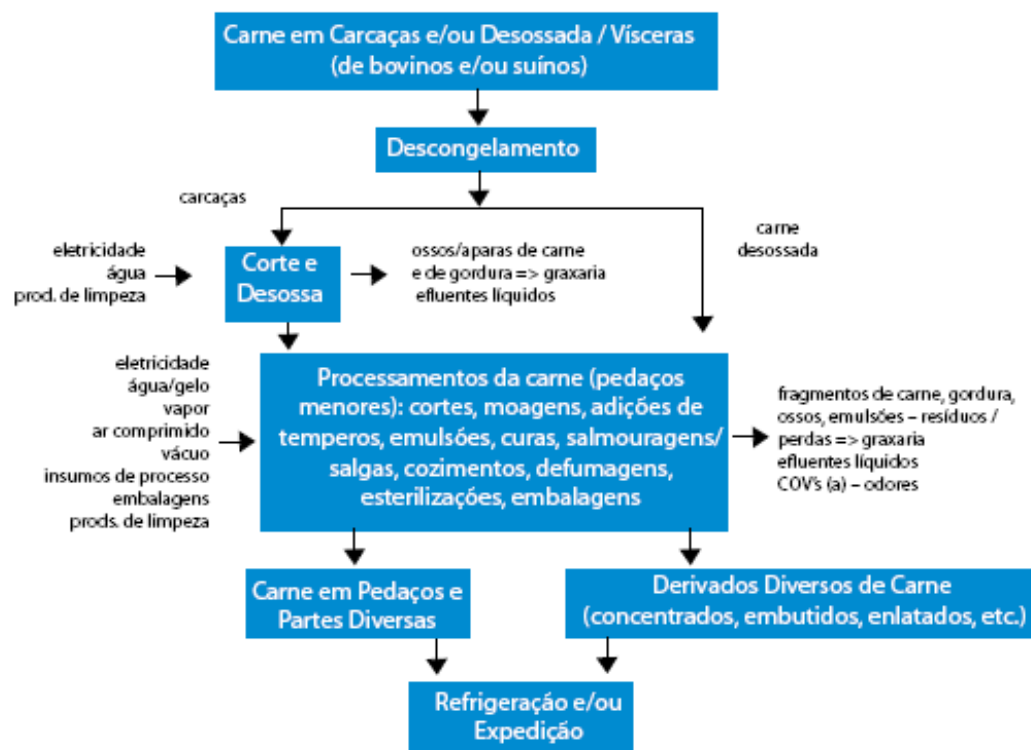


**Figura 3.2: Etapas genéricas da indústria de produtos lácteos**

Fonte: CETESB, 2008.

Em todas as etapas mostradas na Figura 3.2 utilizam-se insumos energéticos, como energia elétrica, por exemplo.

Por fim, no caso da industrialização de carne, após o abate de bovinos e suínos, tanto a carne, como as vísceras podem ser processadas e transformadas em diversos produtos, como: carnes em peças, carnes temperadas, charques (carne seca), presuntos, mortadelas, salsichas, lingüiças, salames, patês, carnes enlatadas, entre outros (CETESB, 2008). A Figura 3.3 ilustra o fluxograma genérico de industrialização de carnes.



(a) COV's = compostos orgânicos voláteis

**Figura 3.3: Fluxograma genérico de industrialização de carnes**

Fonte: CETESB, 2008.

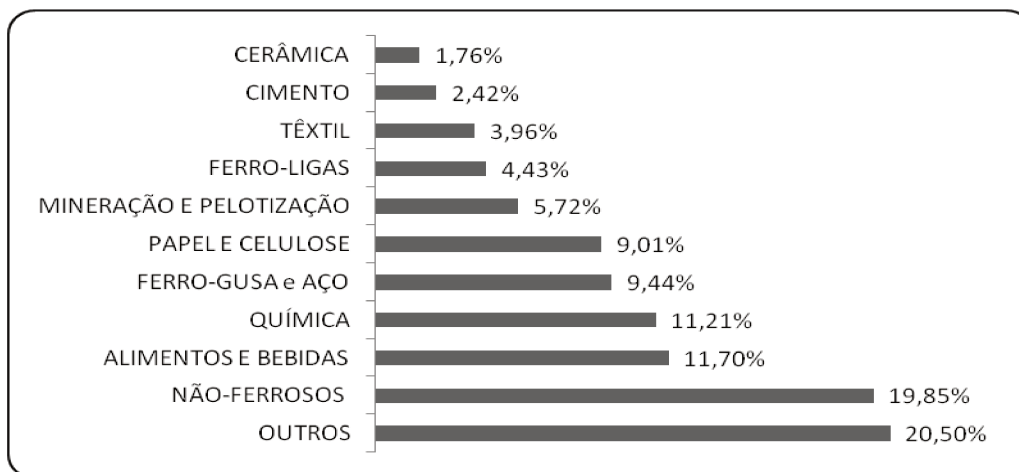
Na seção 3.4.3 são ilustrados fluxogramas mais específicos de industrialização de carne, como o da produção da salsicha, mortadela, presunto e da lingüiça, como exemplos.

### 3.2 Consumo de energia elétrica no segmento industrial de alimentos e bebidas

Nesta seção se caracteriza o consumo de energia elétrica no segmento de alimentos e bebidas, destacando sua participação no consumo industrial nacional e os usos finais de energia elétrica no segmento.

A Figura 3.4 representa a participação (em termos percentuais) de cada segmento industrial no consumo total de energia elétrica do setor industrial. Os dados são referentes ao ano de 2008 e caracterizam as indústrias brasileiras desde as menos eletrointensivas até as mais eletrointensivas.

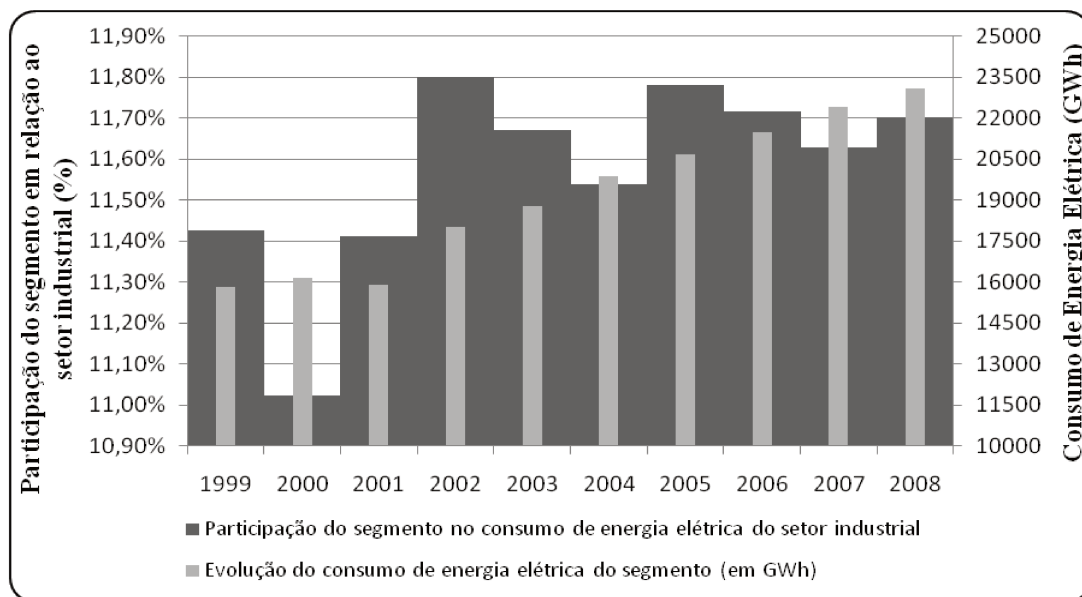
Em comparação com o que consta no Plano Nacional de Energia – PNE 2030 (2007, p.16), no capítulo referente à eficiência energética, percebe-se que ocorrem algumas inversões na ordem de classificação dos segmentos, porém, de uma maneira geral, a caracterização do setor industrial brasileiro não sofreu grandes alterações, no que diz respeito ao consumo de energia elétrica pelos diversos segmentos industriais.



**Figura 3.4: Participação percentual dos diversos segmentos no consumo final de energia elétrica na indústria brasileira em 2008**

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2009, p. 62).

Percebe-se que o segmento de alimentos e bebidas é um dos maiores consumidores de energia elétrica, atrás apenas do segmento de não-ferrosos e outros segmentos. Logo, o setor demonstra ter grandes possibilidades de aplicação de projetos em eficiência energética, otimização de sistemas, tornando o uso dos insumos mais racional. A Figura 3.5 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica do segmento industrial de alimentos e bebidas no período de 1999 a 2008 e a participação deste segmento no consumo industrial nacional.



**Figura 3.5: Evolução do consumo de energia elétrica do segmento de alimentos e bebidas**

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2009, p. 62).

Através da Figura 3.5 e comparando-a com a Figura 2.3, fica claro que o segmento de alimentos e bebidas acompanhou a tendência do setor industrial de crescimento do consumo de energia elétrica ao longo do período analisado.

Analisando a participação da força motriz e da refrigeração no consumo de energia elétrica no segmento industrial de alimentos e bebidas, constatou-se que ambas são responsáveis por mais de 80% deste consumo. A força motriz é utilizada nas indústrias para acionar equipamentos que produzem movimentação de diversas cargas, através de sistemas (por exemplo, bomba centrífuga, ventilador, elevadores, etc.) e equipamentos onde também podem ser aplicadas medidas de eficiência energética (PNE 2030, 2007, p.16-17).

Como exemplo, Bueno (2008, p.85), analisando um frigorífico no interior de São Paulo, concluiu que somente os compressores da sala de máquinas do estabelecimento (num total de 06 equipamentos em funcionamento) eram responsáveis por aproximadamente 97% de todo o consumo de energia elétrica da instalação industrial, portanto caracterizando-se como um local apropriado para estudos de eficiência energética (especificamente eficiência elétrica).

O segmento de alimentos e bebidas tem também um grande potencial de cogeração, pois utiliza grandes quantidades de vapor e energia elétrica em seus processos. A cogeração é o tipo mais comum de autoprodução de energia. Ela constitui-se em uma forma de uso racional da energia, uma vez que o rendimento do processo de produção de energia é significativamente aumentado a partir da produção combinada de energia térmica e elétrica, dando-se um melhor aproveitamento ao conteúdo energético do combustível básico.

### **3.3 Eficiência energética no segmento industrial de alimentos e bebidas**

Em um estudo desenvolvido pela CNI/Eletróbrás/PROCEL (2009), foi constatado que dos 217 projetos de eficiência energética analisados, 35 foram realizados pelo segmento de alimentos e bebidas. Além disto, o custo da energia conservada – CEC para o segmento foi de R\$ 73/MWh, enquanto que o CEC médio de todos os projetos ficou em R\$ 79/MWh. Isso mostra que o segmento possui, do ponto de vista econômico, uma atratividade considerável para a elaboração de projetos de eficiência energética, além do potencial técnico.

Ainda de acordo com o estudo, a energia economizada através das ações em eficiência energética no segmento de alimentos e bebidas foi de 40.934 MWh/ano. Em relação à energia total economizada em todos os projetos analisados, isso representa 6,54%. A princípio parece ser um valor irrisório, porém vale ressaltar que, dentre os segmentos industriais analisados, o segmento mencionado ocupa o 4º lugar no ranking de maior valor de energia economizada.

Outro estudo importante a respeito da classe industrial brasileira foi denominado de “Relatório da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Classe Industrial – AT”, realizado pela Eletróbrás/PROCEL e publicado no ano de 2008 (ano base 2005).

As informações contidas nesse relatório caracterizam, de forma completa e detalhada, a utilização da energia nas instalações industriais e permite avaliar os desempenhos energéticos e inferir o respectivo potencial de melhoria da eficiência energética existente (ELETROBRÁS/PROCEL, 2008a). O estudo foi desenvolvido para o setor industrial atendido



em alta tensão, por ser este segmento responsável por uma elevada parcela do consumo de energia elétrica no País.

Além do referido relatório (consolidado para os diversos segmentos industriais brasileiros), existem relatórios setoriais, como das indústrias de Borracha e Plástico, Metalurgia Básica, Minerais não Metálicos, Produtos Químicos, Têxtil e Alimentos e Bebidas. Este último recebeu maior atenção por ser o foco do presente trabalho de pesquisa.

O relatório setorial apresenta, no caso da indústria de Alimentos e Bebidas, os resultados das pesquisas realizadas em 2005/2006, com base em 127 instalações industriais, nas cinco regiões do Brasil (Sul, Sudeste, Norte, Centro-Oeste e Nordeste). Para tal, a pesquisa teve o apoio de 17 distribuidoras de energia elétrica em 16 estados. Os objetivos foram avaliar os seus desempenhos energéticos e inferir o respectivo potencial de melhoria da eficiência energética existente nesse segmento (ELETROBRÁS/PROCEL, 2008b, p.4).

Assim, são citados a seguir os principais tópicos abordados ao longo deste estudo e sugere-se que, para uma análise mais detalhada, seja feita consulta à referida bibliografia. O estudo verificou, dentre as indústrias participantes:

- A. O enquadramento tarifário, nível de tensão e demanda máxima.
- B. O tamanho da indústria (Pequeno, Médio ou Grande Porte).
- C. A idade das instalações (o tempo de operação das plantas).
- D. O percentual da conta de energia elétrica em relação aos custos totais da indústria.
- E. Os tipos de energéticos utilizados pelas indústrias do segmento (GLP, lenha, etc.).
- F. Utilidades e processos industriais presentes (ar comprimido, vapor, eletrólise, etc.).
- G. A presença de sistemas para a autoprodução de energia elétrica e os tipos utilizados.
- H. A realização do gerenciamento energético (presença ou não das CICES<sup>10</sup>).
- I. Se as empresas realizam avaliações nas instalações (gerais, nos equipamentos, etc.).
- J. Se metas para redução do consumo total de energia são estabelecidas.
- K. As prioridades das indústrias (produção, eficiência energética e outros).
- L. Presença de medição setorial de energia elétrica e controladores de demanda automáticos.

---

<sup>10</sup> Comissão Interna de Conservação de Energia

- M. A preocupação das indústrias com parâmetros elétricos, tais como: fator de potência; correntes harmônicas e fator de carga.
- N. Presença ou não do sistema de geração de emergência.
- O. Utilização de geradores de energia elétrica no horário de ponta.
- P. Questões relacionadas aos motores elétricos e acionamentos, sistemas de bombeamento, ventilação, refrigeração, compressão e outros, assim como o tipo de controle utilizado.
- Q. A participação de cada um dos sistemas motrizes no segmento.
- R. Sistemas de iluminação nas diversas áreas das indústrias (tecnologias utilizadas).
- S. Questões relacionadas ao racionamento de 2001 e alternativas utilizadas pelas empresas.
- T. Aspectos relacionados às ações de eficiência energética.

Todas essas informações caracterizaram o segmento industrial de alimentos e bebidas e mostraram que é um segmento onde existem diversas oportunidades para a implantação de projetos de eficiência energética, assim como é um campo vasto para difundir informações a respeito dos benefícios obtidos com este tipo de projeto, pois, como foi constatado pelo estudo da Eletrobrás/PROCEL (2008b), muitas indústrias ainda têm receio em investir, com medo de não terem um retorno garantido (aversão ao risco).

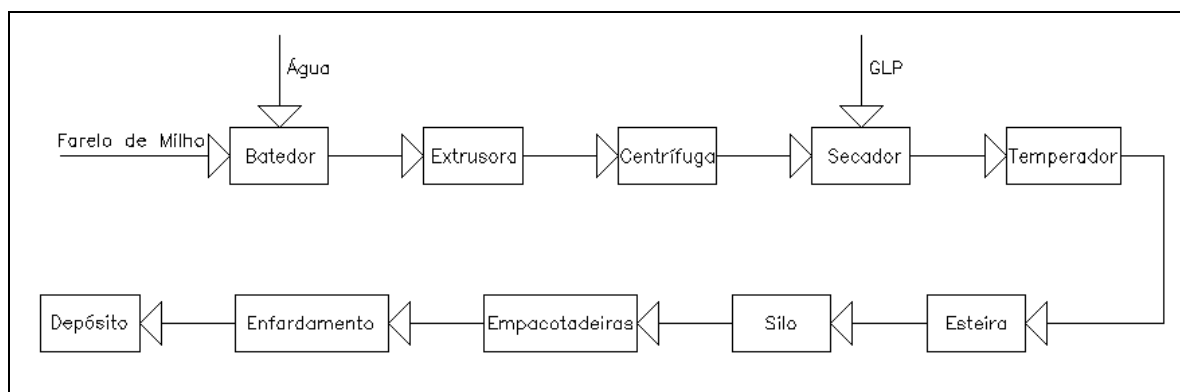
### **3.4 Instalações industriais participantes do estudo**

Para o desenvolvimento desta pesquisa, contou-se com a participação voluntária de 5 instalações industriais do segmento de alimentos e bebidas, localizadas nos Estados de São Paulo (municípios de Campinas, Vinhedo, São Bernardo do Campo e Leme) e Minas Gerais (município de Poços de Caldas). Elas são denominadas de Instalação Industrial A, B, C, D e E. A definição do número de empresas participantes nesta pesquisa se deu pela adesão por parte delas, pois foi feito o convite para cerca de 40 instalações industriais do segmento de alimentos e bebidas, todas localizadas na região Sudeste do País, porém, ao final, somente as 5 apresentadas a seguir aderiram ao trabalho. Esta foi uma das dificuldades encontradas no desenvolvimento desta pesquisa.

### 3.4.1 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial A

A instalação industrial A opera, em média, 24 dias por mês e o turno de produção é das 05h15min às 22h00min. Esta unidade tem entre 21 e 30 anos de operação e é enquadrada como médio porte, com base no número de funcionários (de 100 a 499 funcionários). No quesito de fornecimento de energia elétrica, a mesma é atendida em média tensão e é enquadrada na tarifa Convencional (A4), com tensão nominal de fornecimento de 11,4 kV.

A instalação industrial produz salgadinhos de milho e pipocas doces e salgadas. Porém, neste trabalho foi analisada somente a linha dos salgadinhos, por ser mais representativa em relação ao consumo de energia da instalação. A produção média mensal é de 160 toneladas e o consumo médio mensal de energia elétrica equivale a 47.470 kWh/mês. A Figura 3.6 ilustra o fluxograma da linha de produção dos salgadinhos.



**Figura 3.6: Fluxograma da linha de produção dos salgadinhos de milho**

Fonte: Elaboração própria.

Em todas as etapas do processo de produção, além dos insumos indicados na Figura 3.6, utiliza-se, também, energia elétrica. Com o objetivo de analisar a existência de potencial de eficiência energética, selecionou-se, dentre os equipamentos que compõem a linha de produção, aqueles que são os maiores consumidores de energia elétrica. No caso foram analisados a extrusora e uma empacotadeira.

### 3.4.1.1 Locais e período das medições

Na instalação industrial A foram realizadas medições em quatro pontos distintos. A Tabela 3.1 ilustra tais pontos, assim como o período de medição e os equipamentos utilizados em cada um dos casos.

**Tabela 3.1: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (A)**

Local/Equipamento	Período de Medição	Equipamentos Utilizados
Quadro Geral de Alimentação (entrada/fábrica)	29/08/2010 a 03/09/2010	RE 6081
Extrusora	30/08/2010 a 03/09/2010	RE 6000
Compressor de Ar (SCHULZ – SRP 2050)	11/09/2010 a 16/09/2010*	SAGA 4500
Empacotadeira	11/09/2010 a 16/09/2010*	SAGA 4500

\* produção parou às 21h15min do dia 11/09/2010 e retornou no dia 13/09/2010 às 05h15min.

Fonte: Elaboração própria.

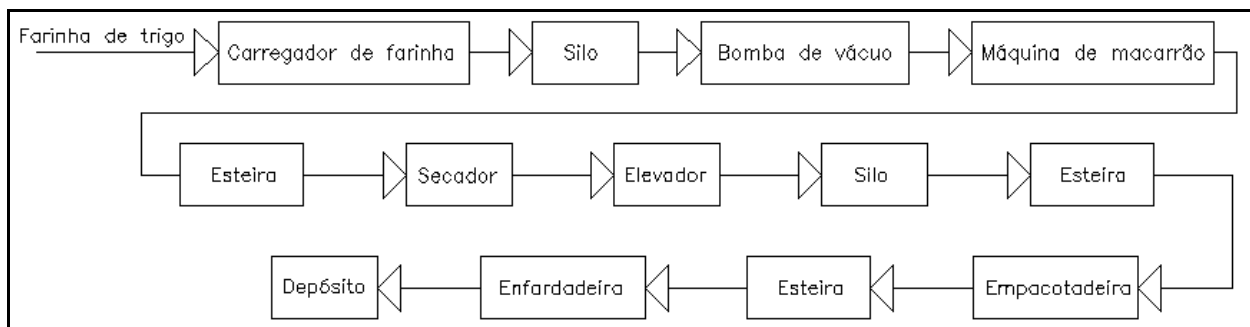
### 3.4.2 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial B

A instalação industrial B opera, em média, 22 dias por mês e o turno de produção é das 07h00min às 17h00min. Esta unidade tem mais de 30 anos de operação e é enquadrada como pequeno porte, com base no número de funcionários (de 20 a 99 funcionários). No quesito de fornecimento de energia elétrica, a mesma é atendida em média tensão e é enquadrada na tarifa Horo-Sazonal Verde (A4), com tensão nominal de fornecimento de 13,8 kV.

A instalação possui uma área de 24.000 m<sup>2</sup>, tendo 3.500 m<sup>2</sup> de área construída e produz massas alimentícias (basicamente pastifícios) dos tipos Espaguete, Padre Nosso, Ave Maria, Anel Médio, Rabo de Porco, Espiral, Parafusinho, Concha Média, Pena, Tortilhone, Cabelo de Anjo, Ninho, Estrelinha, Letrinhas e Lasanha. A produção de cada tipo de pastifício é função da demanda do mercado, não tendo um patamar fixo de produção por tipo de massa. A instalação

possui dois locais de fabricação denominados “fábrica antiga” e “fábrica nova”. Foram realizadas medições nos principais equipamentos de ambas as fábricas, pois cada uma apresenta um nível tecnológico diferente da outra; obviamente, a fábrica antiga possui equipamentos e sistemas menos eficientes do ponto de vista energético, tendo inclusive processos manuais. A fábrica nova está localizada em outro local físico, um galpão novo, com boa iluminação natural e a linha de produção é totalmente automatizada, contando com máquinas modernas e mais eficientes.

A produção média mensal da fábrica antiga é de 123 toneladas e da fábrica nova é de 146 toneladas, o que resulta em uma produção média mensal total de 269 toneladas. O consumo médio mensal de energia elétrica de ambas as fábricas equivale a 56.685 kWh/mês. A Figura 3.7 ilustra o fluxograma típico de uma linha de produção de pastifícios. Não se distinguiu as linhas de produção das fábricas antiga e nova pelo fato de que o processo em si não sofre grandes alterações. As diferenças estão basicamente na eficiência dos equipamentos utilizados e no nível de automatização dos processos.



**Figura 3.7: Fluxograma da linha de produção dos pastifícios**

Fonte: Elaboração própria.

Em todas as etapas do processo de produção, além dos insumos indicados na Figura 3.7, utiliza-se também energia elétrica. Com o objetivo de analisar a existência de um potencial de eficiência energética, selecionaram-se alguns circuitos tidos como mais eletrointensivos. No caso foram analisadas as linhas de produção, tanto da fábrica antiga como na nova, através da medição nos alimentadores de ambas as fábricas, assim como os motores elétricos da caldeira, que alimenta toda a unidade.

### 3.4.2.1 Locais e período das medições

Na instalação industrial B foram realizadas medições em cinco pontos distintos. A Tabela 3.2 ilustra tais pontos, assim como o período de medição e os equipamentos utilizados em cada um dos casos.

**Tabela 3.2: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (B)**

Local/Equipamento	Período de Medição	Equipamentos Utilizados
Transformador Geral (entrada/fábrica)	18/10/2010 a 25/10/2010	SAGA 4500
Caldeira	18/10/2010 a 08/11/2010*	SAGA 4500
Alimentador 1 da Fábrica Nova	25/10/2010 a 06/11/2010	SAGA 4500
Alimentador 2 da Fábrica Nova	25/10/2010 a 06/11/2010	SAGA 4500
Alimentador da Fábrica Antiga	18/10/2010 a 25/10/2010	SAGA 4500

\* produção pela caldeira parou nos dias 24/10 e 07/11/2010.

Fonte: Elaboração própria.

### 3.4.3 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial C

A instalação industrial C opera, em média, 22 dias por mês e o turno de produção é das 06h00min às 00h00min e das 00h00min às 02h00min. Esta unidade tem entre 5 e 10 anos de operação e é enquadrada como médio porte, com base no número de funcionários (de 100 a 499 funcionários). No quesito de fornecimento de energia elétrica, a mesma é atendida em média tensão e é enquadrada na tarifa Horo-Sazonal Verde (A4), com tensão nominal de fornecimento de 13,8 kV.

A instalação industrial tem capacidade instalada de 50 toneladas de embutidos em um turno. Toda a área de processo é mantida a temperatura constante (15°C) e a empresa mantém um

estoque médio de 4 horas de produção. As carnes são armazenadas em containeres de PVC, com capacidade de 500 kg cada. Para o cozimento, utilizam-se estufas de ar quente e seco importadas.

Como exemplo, cita-se o a linha de mortadelas: cada lote de mortadela fica na estufa de 10 a 18 horas, pois o tempo de cozimento depende do diâmetro da peça. O processo de cozimento chega ao fim quando o centro da peça da mortadela atinge os 72 °C. Em seguida as peças são resfriadas, primeiro com choque térmico, de água gelada e depois em câmaras frias, até atingirem a temperatura de 20°C. A fábrica produz também bacon, presunto crus (espanhol e italiano), lingüiças, salsichas, zampone, panceta tipo italiana, codeguim e *pig beef*.

Com o objetivo de analisar a existência de um potencial de eficiência energética, selecionou-se, dentre os equipamentos e sistemas que compõe a linha de produção, aqueles que são os maiores consumidores de energia elétrica. No caso analisaram-se os motores elétricos da caldeira, o compressor de ar comprimido, o sistema de refrigeração, através dos compressores de frio e condensadores, as estufas de cozimento e a linha de produção do *pig beef*.

A produção média mensal da fábrica é de 800 toneladas e o consumo médio mensal de energia elétrica equivale a 285.950 kWh/mês. As Figuras 3.8.a, b e c ilustram os fluxogramas básicos de produção da salsicha e mortadela, do presunto e da lingüiça, respectivamente, obtidas nos manuais de Produção Mais Limpa da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, ano base 2008.

Ressalte-se que, com as figuras apresentadas a seguir, retiradas do manual da CETESB (2008), buscou-se mostrar os insumos utilizados em cada uma das etapas dos processos descritos. Porém, as saídas destes processos (localizados no lado direito das figuras) não foram analisadas neste trabalho. Estas saídas têm relevância quando se faz uma análise com enfoque ambiental, pois se trata da análise dos resíduos sólidos, efluentes líquidos, dentre outros elementos que resultam do processamento dos produtos.

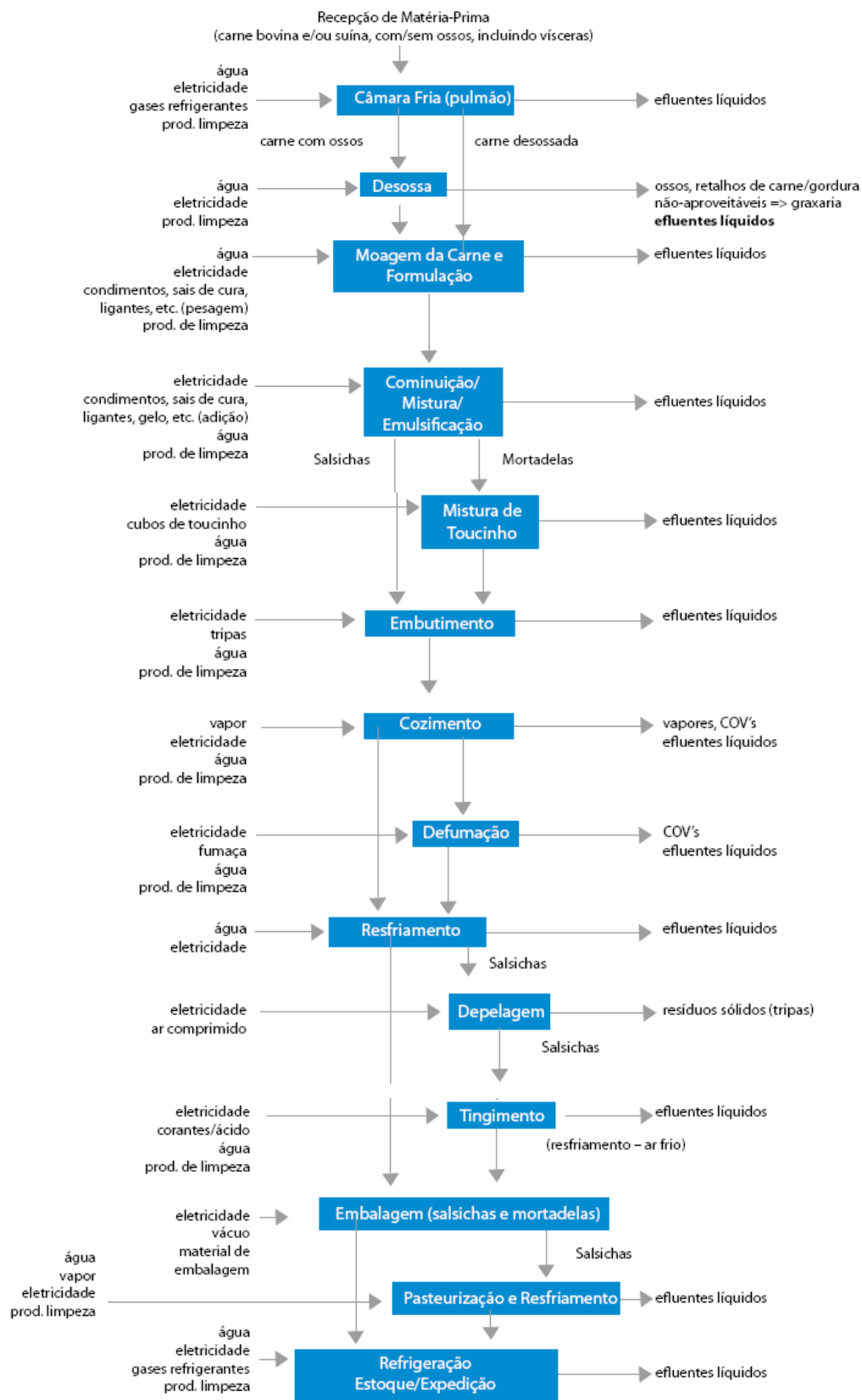
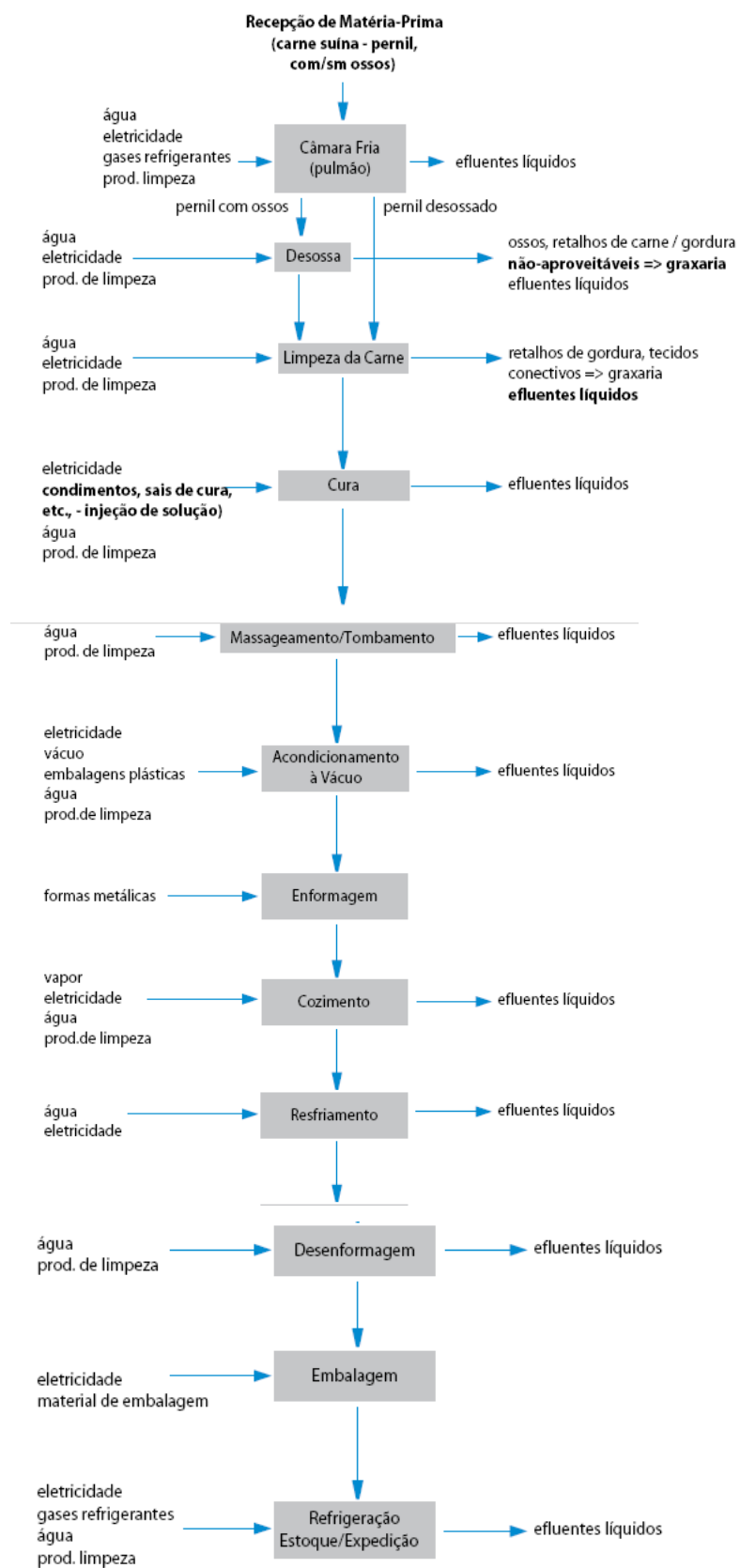
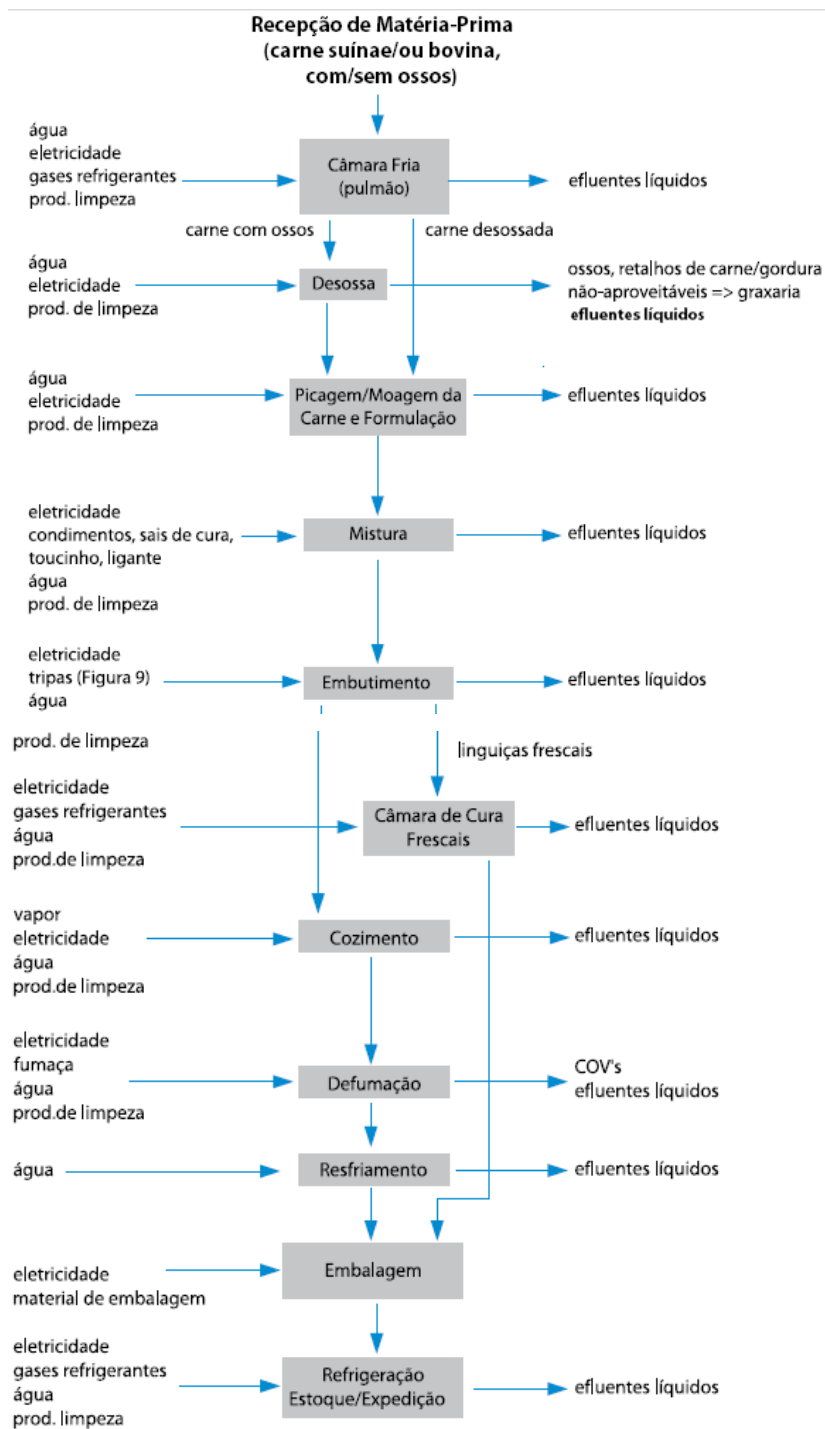


Figura 3.8.a: Fluxograma básico da linha de produção da salsicha e mortadela





**Figura 3.8.b: Fluxograma básico da linha de produção do presunto**



**Figura 3.8.c: Fluxograma básico da linha de produção da lingüiça**

Fonte: CETESB, 2008.

### 3.4.3.1 Locais e período das medições

Na instalação industrial C foram realizadas medições em seis pontos distintos. A Tabela 3.3 ilustra tais pontos, assim como o período de medição e os equipamentos utilizados em cada um dos casos.

**Tabela 3.3: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (C)**

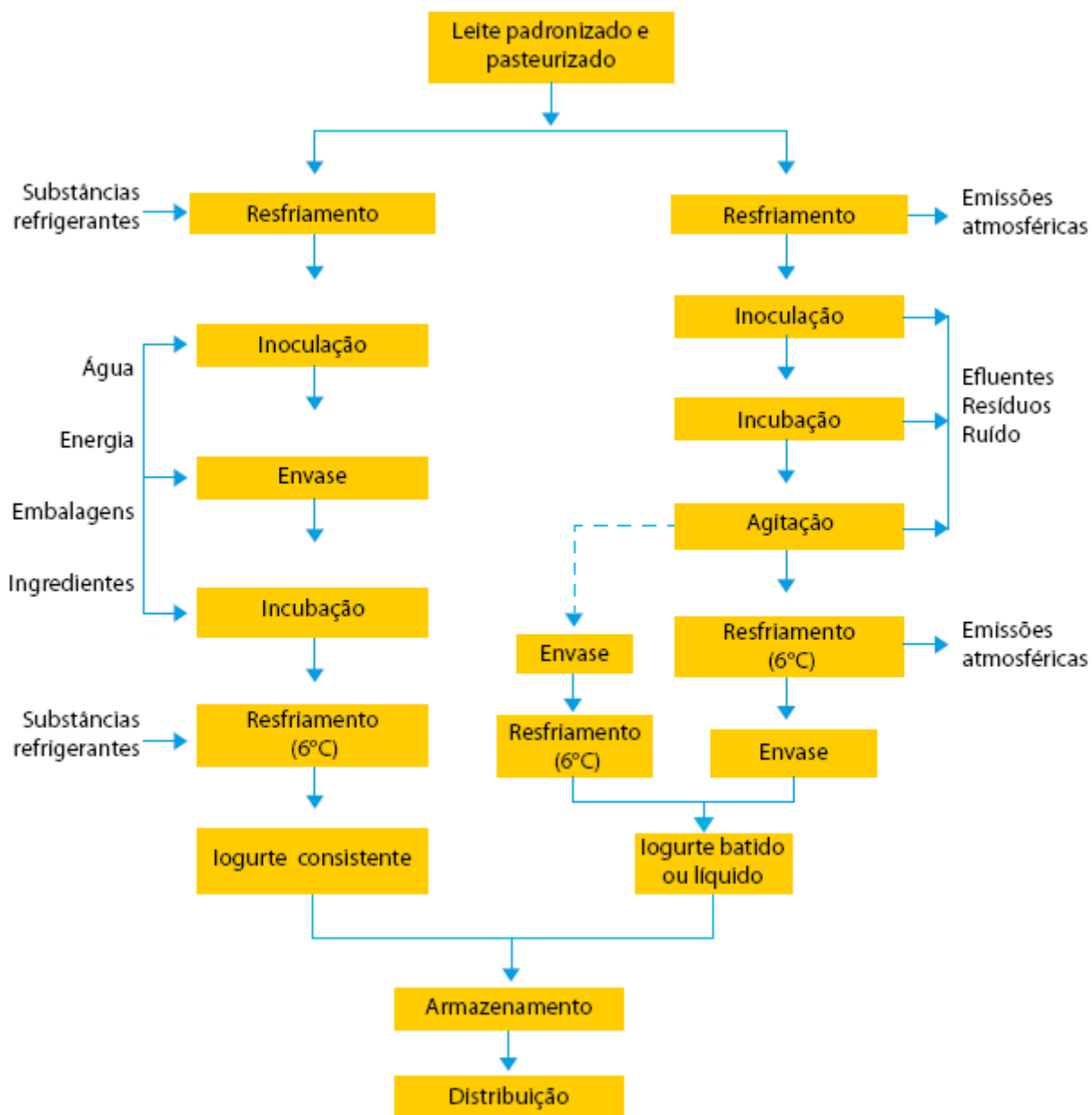
Local/Equipamento	Período de Medição	Equipamentos Utilizados
Compressor de Ar Comprimido	09/10/2010 a 16/10/2010	SAGA 4500
Caldeira	04/10/2010 a 09/11/2010	SAGA 4500
Compressor de frio	09/10/2010 a 16/11/2010	SAGA 4500
Condensadores	09/10/2010 a 16/11/2010	SAGA 4500
Estufas de cozimento	04/10/2010 a 09/10/2010	SAGA 4500
Linha de produção do <i>pig beef</i>	04/10/2010 a 09/10/2010	SAGA 4500

Fonte: Elaboração própria.

### 3.4.4 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial D

A instalação industrial D opera, em média, 30 dias por mês e o turno de produção é de 24 horas. Esta unidade tem mais de 30 anos de operação e é enquadrada como grande porte, com base no número de funcionários (com 500 funcionários ou mais). No quesito de fornecimento de energia elétrica, a mesma é atendida em média tensão e é enquadrada como Hora-Sazonal Azul (A4), com tensão nominal de fornecimento de 13,8 kV.

A instalação industrial beneficia derivados do leite e lácteos como iogurtes e danones. A produção média mensal é de 27.000 toneladas e o consumo médio mensal de energia elétrica equivale a 3.298.721 kWh/mês. A Figura 3.9 ilustra o fluxograma do processo de produção dos iogurtes.



**Figura 3.9: Fluxograma básico do processo de produção de iogurtes**

Fonte: CETESB, 2008.

### 3.4.4.1 Locais e período das medições

Na instalação industrial D foram realizadas medições em três pontos distintos, uma vez que a empresa possui um sistema de aquisição de dados em grande parte de suas instalações. A Tabela 3.4 ilustra tais pontos, assim como o período de medição e os equipamentos utilizados em cada um dos casos.

**Tabela 3.4: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (D)**

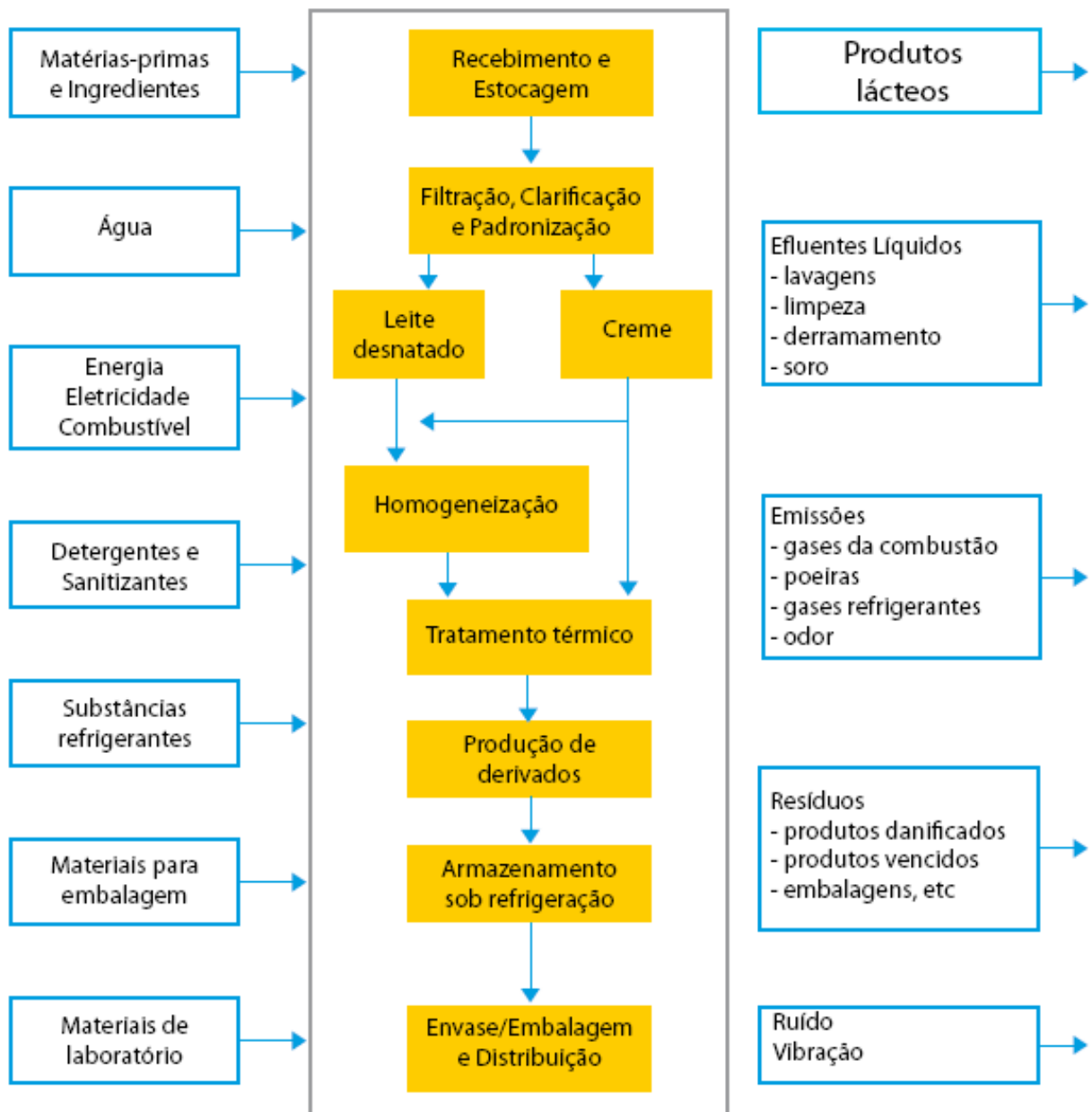
Local/Equipamento	Período de Medição	Equipamentos Utilizados
Compressor de frio	09/10/2010 a 16/10/2010	RE 6000
Bomba de circulação de água – 30 CV	17/09/2010 a 27/09/2010	SAGA 4500
Bomba de circulação de água – 60 CV	17/09/2010 a 27/09/2010	SAGA 4500

Fonte: Elaboração própria.

### 3.4.5 Instalações e processo produtivo – Instalação industrial E

A instalação industrial E opera, em média, 20 dias por mês e o turno de produção é das 05h40min às 17h30min. Esta unidade tem mais de 30 anos de operação e é enquadrada como médio porte, com base no número de funcionários (de 100 a 499 funcionários). No quesito de fornecimento de energia elétrica, a mesma é atendida em média tensão e é enquadrada como Hora-Sazonal Verde (A4), com tensão nominal de fornecimento de 13,8 kV.

A indústria beneficia derivados do leite. A produção média mensal do Produto A (leite fermentado) é de 214.579 litros e do Produto B (sobremesa láctea) 107 toneladas. O consumo médio mensal de energia elétrica da indústria equivale a 152.330 kWh/mês. A Figura 3.10 ilustra o fluxograma do processo global de obtenção de produtos lácteos, assim como os principais aspectos ambientais de entrada e saída do processo.



**Figura 3.10: Fluxograma genérico da indústria de produtos lácteos**

Fonte: CETESB, 2008.

### 3.4.5.1 Locais e período das medições

Na instalação industrial E foram realizadas medições em seis pontos distintos. A Tabela 3.5 ilustra tais pontos, assim como o período de medição e os equipamentos utilizados em cada um dos casos.

**Tabela 3.5: Locais de instalação, período de medição e equipamentos utilizados (E)**

Local/Equipamento	Período de Medição	Equipamentos Utilizados
Compressor de ar comprimido	11/11/2010 a 22/10/2010	SAGA 4500
Caldeira	22/11/2010 a 26/11/2010	SAGA 4500
Sistema de água gelada	22/11/2010 a 26/11/2010	SAGA 4500
Ar condicionado central	22/11/2010 a 26/11/2010	SAGA 4500
Sistema de refrigeração	11/11/2010 a 22/11/2010	SAGA 4500
Linha de produção do Produto A	11/11/2010 a 22/11/2010	SAGA 4500
Linha de produção do Produto B	22/11/2010 a 26/11/2010	SAGA 4500

Fonte: Elaboração própria.

## 4 DIAGNÓSTICO DO USO DA ENERGIA ELÉTRICA E INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com o objetivo de definir indicadores de eficiência energética para a amostra selecionada do segmento industrial de alimentos e bebidas, analisaram-se o processo de produção, o nível de produção, as características operativas e nominais dos principais equipamentos (principais no sentido de maiores consumidores de energia das instalações analisadas) de 5 unidades fabris, conforme descrição a seguir. As análises foram realizadas nos meses de agosto a novembro de 2010, com medições durante uma semana típica de operação/produção das instalações industriais. A pesquisa foi dividida em três etapas:

**1ª Etapa:** foi disponibilizado um questionário (*online*) de caráter preliminar, pelo qual as instalações industriais participantes puderam fornecer informações a respeito das instalações, processos produtivos, equipamentos e/ou sistemas energointensivos, insumos energéticos utilizados, dentre outras informações.

**2ª Etapa:** esta consistiu na realização de visitas às instalações industriais, com o objetivo de detalhar as informações preliminares que haviam sido informadas na 1ª etapa. Nestas visitas foram também determinados os locais, em cada instalação industrial, para a realização da 3ª etapa.

**3ª Etapa:** Instalação de analisadores de energia elétrica nos equipamentos e/ou sistemas (circuitos elétricos) responsáveis pelo maior consumo de energia elétrica em cada instalação industrial, com o objetivo de identificar o índice de carregamento dos mesmos, podendo identificar possíveis potenciais de eficiência energética.



#### 4.1 Equipamentos utilizados para medições dos parâmetros de energia elétrica

Foram utilizados ao longo da pesquisa analisadores portáteis de grandezas elétricas, os quais foram instalados em pontos específicos de cada instalação industrial. Estes aparelhos permitem medir os valores de corrente elétrica sem ter que interromper o circuito, pois possuem sensores tipo alicate. Os alicates utilizados possuem capacidade nominal de 1.000 e 2.000 A e o conjunto medidor e alicates possuem exatidão de 1%. O intervalo de medição foi parametrizado para 900s (ou 15min), de acordo com o intervalo de medição da demanda pelas concessionárias de energia elétrica. Além disso, os analisadores de energia são capazes de monitorar diversas grandezas elétricas, como as potências ativas, reativas e aparentes (por fase e trifásica), tensões, fator de potência, energia, dentre outras. Outra vantagem é que os arquivos de leitura podem ser facilmente convertidos em planilhas do tipo Excel®, o que facilita a plotagem de gráficos e o manuseio dos dados coletados. Apesar de utilizar equipamentos de marcas distintas (SAGA e EMBRASUL), tanto os *hardwares* como os *softwares* são muito similares quanto às análises realizadas e os resultados. Especificações e detalhes dos equipamentos constam no ANEXO A.

As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram os modelos de equipamentos utilizados.



**Figura 4.1: Equipamento utilizado - SAGA**

Fonte: Landis+Gyr, 2010



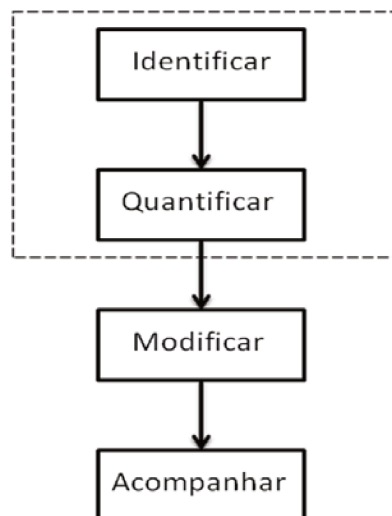
**Figura 4.2: Equipamentos utilizados - EMBRASUL**

Fonte: EMBRASUL, 2010.

## **4.2 Método do diagnóstico do uso da energia elétrica**

Foi utilizado o método do diagnóstico do uso da energia elétrica com o intuito de averiguar a utilização deste insumo pelas instalações industriais analisadas, em seus diversos processos. Com isso, consegue-se analisar, através das condições operativas dos equipamentos que compõem as linhas de produção, se estes estão operando de maneira eficiente ou não. Para tal, se fez necessária a instalação de analisadores de energia elétrica, como os modelos EMBRASUL e SAGA, já citados anteriormente e que foram utilizados neste trabalho.

Conforme Marques *et al.*(2006, p. 135), o diagnóstico energético é um método com algumas variações em aplicativos computacionais, que visa estudar unidades consumidoras industriais e comerciais, com o intuito de identificar o perfil de consumo por uso final. Para tal, requer levantamento de dados em campo, os quais permitem identificar quantitativamente os pontos críticos e indicar necessidades de atuação em equipamentos específicos. A Figura 4.3 ilustra a estrutura básica do método de diagnóstico energético.



**Figura 4.3: Estrutura básica do método do diagnóstico energético**

Fonte: Adaptado de Marques *et al*, 2006.

Destacou-se, na Figura 4.3, os dois primeiros elementos (identificar e quantificar), pois foi este o foco neste trabalho. Ou seja, buscou-se identificar as principais fontes de consumo de energia elétrica, quantificar e, quando aplicáveis, apontar soluções mais eficientes, tanto em termos de equipamentos, como de etapas do processo. As demais etapas (modificar e acompanhar) dependem de avaliações econômicas das instalações industriais.

### 4.3 Análise do enquadramento tarifário

O enquadramento tarifário é elemento importante na busca da otimização dos recursos de diversas unidades consumidoras, principalmente aquelas atendidas em média tensão, como é o caso da maioria das instalações industriais no Brasil. Por isso, compreender a estrutura tarifária é um parâmetro importante para a correta tomada de decisão em projetos envolvendo conservação de energia (MARQUES *et al*, 2006).

As faturas de energia elétrica são sínteses dos parâmetros elétricos das unidades consumidoras, refletindo a maneira como a energia é utilizada. Segundo Marques *et al* (2006, p. 149), uma análise histórica, com no mínimo 12 meses, apresenta um quadro rico de informações

e torna-se a base de comparação para futuras mudanças, visando identificar potenciais de economia.

O acompanhamento e análise das faturas de energia elétrica são recursos importantes a serem utilizados por muitas empresas, através de equipe própria, ou por empresas de prestação de serviços, para uma melhor adequação contratual junto às concessionárias, podendo obter redução dos gastos com energia elétrica e, conseqüentemente, o uso racional deste insumo.

Portanto, para realizar a análise do enquadramento tarifário das indústrias participantes deste trabalho, utilizou-se o software Mark IV Plus,<sup>11</sup> disponibilizado pela Eletrobrás, o qual consiste em uma ferramenta para diagnóstico e gestão energética, onde o usuário fornece as informações sobre a instalação que pretende obter a análise. Após avaliação, o programa fornece um relatório com a análise do consumo de energia e medidas de conservação de energia a serem tomadas. O programa está dividido em módulos de análises, como: análise de contas de energia, análise econômica, ar condicionado central, ar condicionado de janela, caldeiras, cogeração, condensadores a água, fornos e estufas, iluminação, motores, quadros de distribuição, refrigeração, transformadores e tubulações.

#### **4.4 Aplicação do Guia Nacional de M&V**

Para a realização das medições em campo, foi utilizada uma adaptação da metodologia de medição e verificação (M&V), definida como um método para comprovar os resultados de economia em energia e custos, devido a ações de eficiência energética. Adaptação porque, como já foi comentado, neste trabalho não se realizaram as fases de modificação e acompanhamento.

Quando se trata de questões energéticas, é evidente que devem ser realizadas medições para poder ser feito o gerenciamento, monitoramento e a tomada de decisões. Em relação às opções de M&V, o Guia da Eletrobrás apresenta quatro tipos, ficando a critério de quem irá

---

<sup>11</sup> Mais informações em: <http://www.eletrobras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={3DD177E6-10A6-4359-9BCB-FD2DAD8A6B9B}>. Acesso em Novembro de 2010.

planejar/projetar e/ou executar, determinar qual é a melhor opção para uma determinada situação. Os custos variam de acordo com cada opção, devido ao grau (maior ou menor) de utilização de recursos como medição, informática, etc.

Logo, optou-se por utilizar a opção A, enfatizando que foi aplicada a opção com adaptações, pois não foi realizado o *retrofit*. Esta opção consiste em se trabalhar de maneira parcialmente isolada, ou seja, alguns parâmetros, mas não todos, podem ser estimados. Assim, pelo menos um dos parâmetros de influência sobre o consumo deve ser medido. Um exemplo de aplicação típica é o *retrofit* de um sistema de iluminação, onde a potência instantânea é medida e as horas de funcionamento são estimadas.

Na prática, lembra-se que não é possível medir economia de energia. Por definição, medição é a comparação com um padrão definido e existente. Portanto, o que foi realizado neste trabalho foi justamente a obtenção deste padrão definido e existente, identificando através das medições o atual perfil operacional dos equipamentos e das linhas de produção. Caso as instalações industriais dêem continuidade ao trabalho, já terão o padrão ex-ante de suas instalações e, assim, poderão fazer as alterações necessárias (*retrofits*) e, em seguida, realizar as medições pós-*retrofit*, tendo dados consistentes para determinar as economias obtidas com as ações de eficiência energética.

#### **4.5 Fator de carga das instalações industriais (FC)**

Com o objetivo de determinar a forma como as instalações industriais analisadas neste trabalho utilizam a energia elétrica, foi utilizado o conceito do fator de carga (FC). Este fator é um índice que pode variar entre 0 (zero) e 1 (um) e aponta a relação entre o consumo de energia elétrica e a demanda de potência máxima multiplicada pelo número de horas em um determinado espaço de tempo (MONTEIRO e ROCHA, 2005).

Por convenção, pode-se considerar esse tempo como sendo igual a 730 horas por mês, que representa o número médio de horas em um mês genérico do ano [(365 dias/12 meses) x 24 horas]. Destaca-se que o número de horas depende do intervalo de leitura.

Deste modo, o fator de carga médio pode ser expresso pela equação 4.1:

$$FC_M = \frac{\text{consumo mensal (kWh)}}{\text{demanda mensal (kW)} \times 730} \quad (4.1)$$

No caso da estrutura tarifária horo-sazonal verde (caso mais típico encontrado nesta pesquisa), ou seja, onde se tem cobrança de tarifas diferenciadas, no caso do consumo, de acordo com as horas do dia (horário ponta e fora ponta) e com os meses do ano (período seco e período úmido), pode-se dividir o tempo de 730 horas por mês em dois intervalos: o primeiro sendo equivalente a 66 horas, correspondente ao horário de ponta, pois, por definição da própria ANEEL<sup>12</sup>, este é um “período definido pela concessionária, composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e em feriados, considerando as características do seu sistema elétrico”, e ainda que, em média, tem-se 22 dias por mês, de acordo com as considerações acima. O segundo intervalo, por consequência, advém da diferença entre as 730 horas por mês e as 66 horas; portanto, para o horário fora ponta restam 664 horas por mês.

Diante das considerações acima, apresentam-se as equações 4.2 e 4.3, as quais definem o fator de carga na ponta (FC<sub>p</sub>) e o fator de carga fora de ponta (FC<sub>fp</sub>), respectivamente:

$$FC_p = \frac{\text{consumo mensal na ponta (kWh)}}{\text{demanda mensal (kW)} \times 66} \quad (4.2)$$

$$FC_{fp} = \frac{\text{consumo mensal fora da ponta (kWh)}}{\text{demanda mensal (kW)} \times 664} \quad (4.3)$$

---

<sup>12</sup> Mais informações consultar: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/glossario.cfm?att=H>. Acesso em novembro de 2010.

Por fim, lembra-se que, no caso da modalidade de tarifa horo-sazonal azul, deve-se considerar, além do consumo na ponta e fora da ponta, a demanda na ponta e fora da ponta, pois é isso que diferencia este tipo de tarifa da horo-sazonal verde. Para calcular o fator de carga nesta modalidade, apresentam-se as equações 4.4 e 4.5.

$$FC_p = \frac{\text{consumo mensal na ponta (kWh)}}{\text{demanda mensal na ponta (kW)} \times 66} \quad (4.4)$$

$$FC_{fp} = \frac{\text{consumo mensal fora da ponta (kWh)}}{\text{demanda mensal fora de ponta (kW)} \times 664} \quad (4.5)$$

#### **4.6 Consumo específico de energia elétrica (CE) e preço médio da energia elétrica (PM<sub>E</sub>)**

Além do fator de carga são também calculados dois outros indicadores de eficiência energética neste trabalho: o consumo específico de energia elétrica e o preço médio da energia elétrica. O primeiro refere-se à relação, em um dado intervalo de tempo, entre o consumo de energia elétrica (kWh) e o produto ou serviço fornecido. Pode-se comparar o consumo específico com padrões nacionais ou internacionais e verificar a existência de possíveis potenciais de economia de energia elétrica, através da utilização de produtos e/ou processos mais eficientes. A equação 4.6 apresenta o cálculo deste indicador:

$$CE = \frac{\text{Consumo (kWh)}}{\text{Produção}} \quad (4.6)$$

onde:

Consumo: consumo de energia elétrica, em kWh

Produção: quantidade de produto produzido pela unidade consumidora, em toneladas, ou litros, por exemplo.

O segundo indicador relaciona o gasto mensal com energia elétrica com o consumo de energia (kWh) no mês de referência. A equação 4.7 define o cálculo deste indicador:

$$PM_E = \frac{\text{Custo total da fatura}}{\text{Consumo de energia no mês}} = \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \quad (4.7)$$



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises dos enquadramentos tarifários e demandas contratadas

Com o intuito de verificar se as instalações industriais participantes da pesquisa estão enquadradas no mais adequado perfil tarifário, foi realizado um estudo de enquadramento tarifário para cada unidade, através da análise das faturas de energia em um período de 12 (doze) meses. Ressalte-se que, para a projeção que foi realizada, considerou-se a resolução nº 414 de 09/09/2010<sup>13</sup>, a qual substitui a resolução nº 456/2000, que estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Outra premissa utilizada é que o perfil da unidade consumidora não sofra grandes variações ao longo do ano projetado, pois a base de dados são os dados medidos, ou seja, sobre aquilo que já ocorreu. A seguir apresentam-se os resultados destas análises.

#### 5.1.1 Instalação industrial A

A Tabela 5.1 apresenta o resumo da análise de enquadramento tarifário para a instalação industrial A.

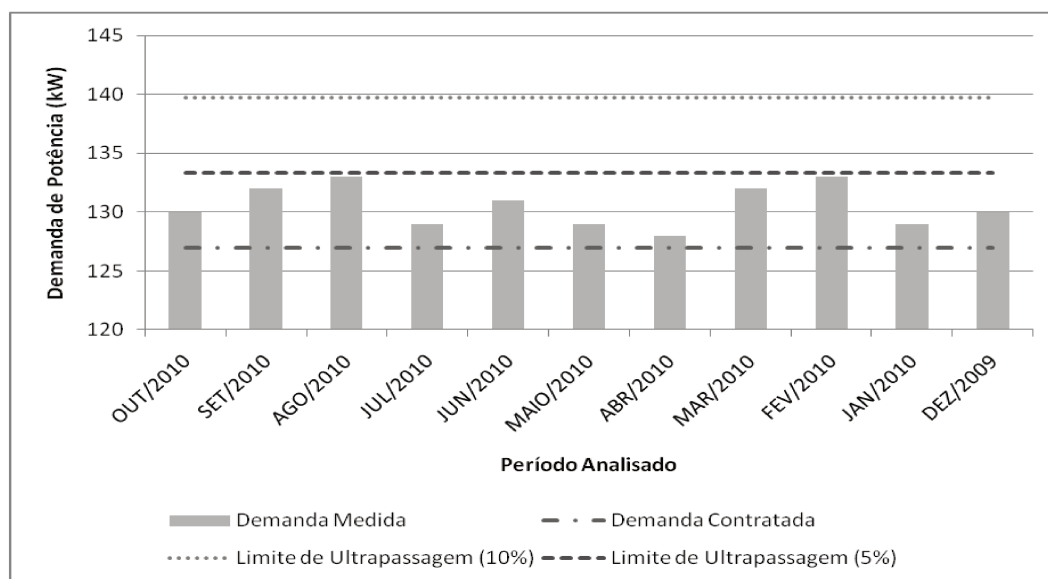
**Tabela 5.1: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial A**

Considerações	Situação Atual	Situação Proposta
Estrutura tarifária	Convencional	Convencional
Demanda contratada	127 kW	127 kW
Valor médio das faturas mensais	R\$ 14.414,49	R\$ 14.414,49
Economia anual estimada	-	-

Fonte: Elaboração própria

<sup>13</sup> Mais informações consultar: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em dezembro de 2010.

Neste caso foi informado que a instalação industrial já havia realizado uma alteração contratual para o fornecimento de energia elétrica há apenas 3 meses; logo, não se verificou a necessidade de uma nova mudança nas condições contratuais. Assim, no quesito enquadramento tarifário a instalação industrial não apresenta nenhuma possibilidade de economia. A Figura 5.1 ilustra o comportamento da demanda no período analisado. Ressalte-se que, nesta figura, há dois limites de ultrapassagem, um referente a resolução nº 456 (10%) e o outro referente a resolução nº 414 (5%).



**Figura 5.1: Comportamento da demanda – Instalação industrial A**

Fonte: Elaboração própria.

### 5.1.2 Instalação industrial B

A Tabela 5.2 apresenta o resumo da análise de enquadramento tarifário para a instalação industrial B.

**Tabela 5.2: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial B**

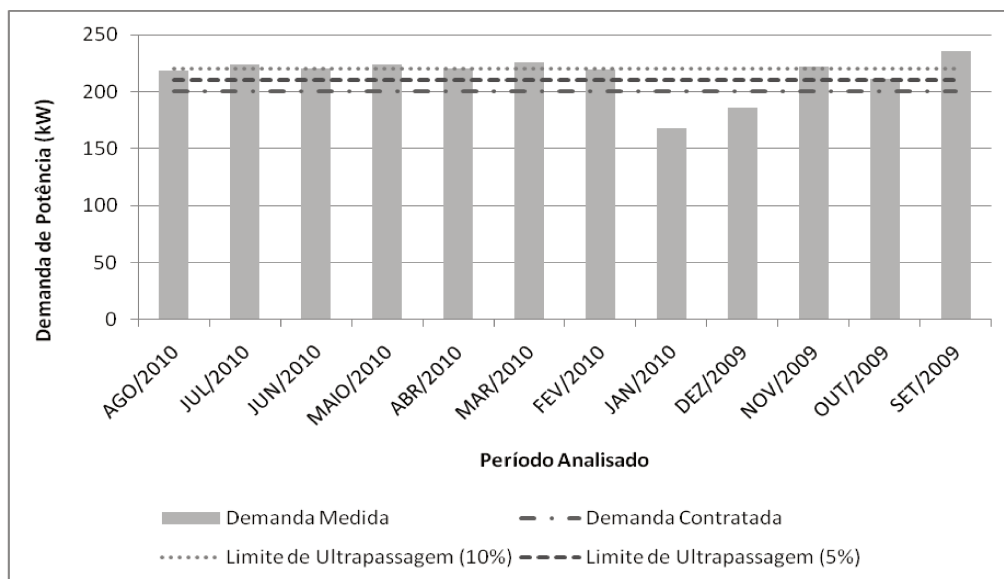
Considerações	Situação Atual	Situação Proposta
Estrutura tarifária	Horo-Sazonal Verde	Horo-Sazonal Verde
Demanda contratada	200 kW	214 kW
Valor médio das faturas mensais	R\$ 17.589,95	R\$ 17.346,42
Economia anual estimada	-	R\$ 2.334,34

Fonte: Elaboração própria

Para a instalação industrial B, fez-se uma sugestão de alteração da demanda contratada, pois a empresa pagou por alguns períodos a demanda de ultrapassagem, que ocorre quando a demanda medida excede o limite de ultrapassagem. Neste caso, o valor da tarifa de ultrapassagem (baseado na resolução nº 456/2000) é três vezes o valor da tarifa de demanda. Com a resolução nº 414, o valor da tarifa de ultrapassagem passa a ser duas vezes o valor da tarifa de demanda. Com a sugestão da demanda ótima a empresa poderá economizar com os gastos de energia elétrica, apesar de ser um valor pequeno quando comparado aos gastos anuais da empresa com este insumo (cerca de 1% de economia). Obviamente, a opção de adotar, ou não, a sugestão de alteração contratual será da instalação industrial.

Destaque-se que esta instalação industrial possui uma empresa terceirizada que faz a gestão e manutenção da parte elétrica e, conseqüentemente, já foram feitos ajustes na tentativa de se obter um uso eficiente da energia elétrica.

A Figura 5.2 ilustra o comportamento da demanda ao longo do período analisado.



**Figura 5.2: Comportamento da demanda – Instalação industrial B**

Fonte: Elaboração própria.

### 5.1.3 Instalação industrial C

A Tabela 5.3 apresenta o resumo da análise de enquadramento tarifário para a instalação industrial C.

**Tabela 5.3: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial C**

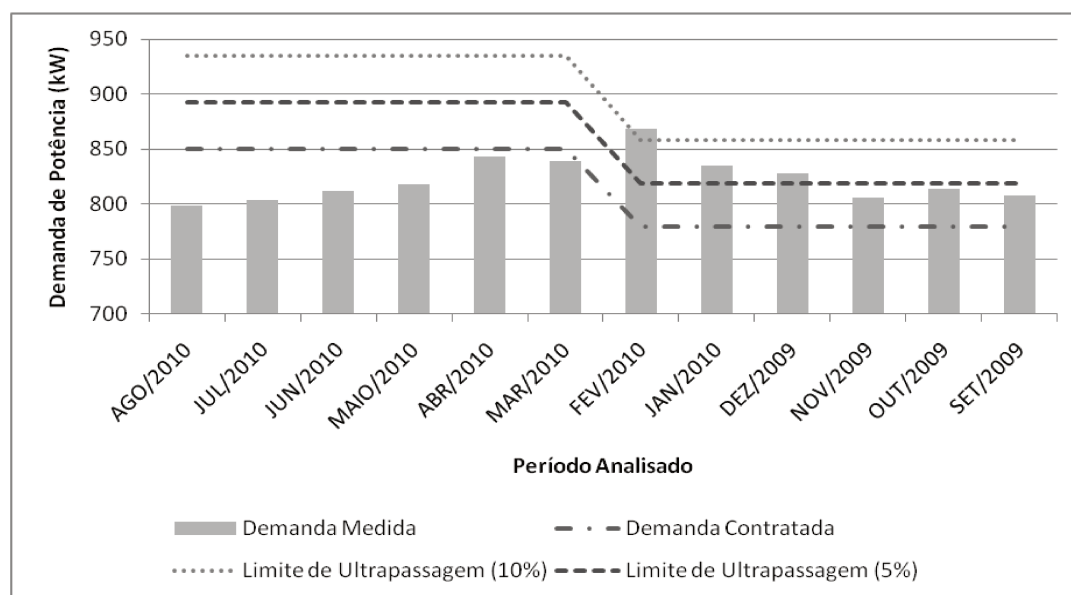
Considerações	Situação Atual	Situação Proposta
Estrutura tarifária	Horo-Sazonal Verde	Horo-Sazonal Verde
Demanda contratada	850 kW	850 kW
Valor médio das faturas mensais	R\$ 72.250,43	R\$ 72.250,43
Economia anual estimada	-	-

Fonte: Elaboração própria

Nesta instalação industrial, foi informado que já havia sido realizada uma alteração contratual para o fornecimento de energia elétrica em fevereiro do corrente ano; logo não se verificou a necessidade de uma nova mudança nas condições contratuais. Assim, no quesito

enquadramento tarifário a instalação industrial não apresenta nenhuma possibilidade considerável de economia. Na Figura 5.3 percebe-se que a alteração foi o aumento da demanda contratada, em função do aumento da produção, segundo informações dos funcionários da empresa. É possível fazer um pequeno ajuste na demanda contratada, porém isso iria trazer um ganho insignificante, e a empresa ficaria com menos flexibilidade, o que poderia fazer com que a mesma ultrapassasse os limites de demanda e pagasse por isso. Ainda segundo informações dos funcionários, nos meses de dezembro a fevereiro há um aumento no volume de produção, conseqüentemente na demanda por energia elétrica, e de acordo com a resolução da ANEEL nº 414, a partir de agora a contratação de demanda será única, ou seja, salvo alguns casos muito específicos, não haverá mais contratação de demanda no período seco e úmido.

A Figura 5.3 ilustra o comportamento da demanda ao longo do período analisado.



**Figura 5.3: Comportamento da demanda – Instalação industrial C**

Fonte: Elaboração própria.

#### 5.1.4 Instalação industrial D

A Tabela 5.4 apresenta o resumo da análise de enquadramento tarifário para a instalação industrial D.

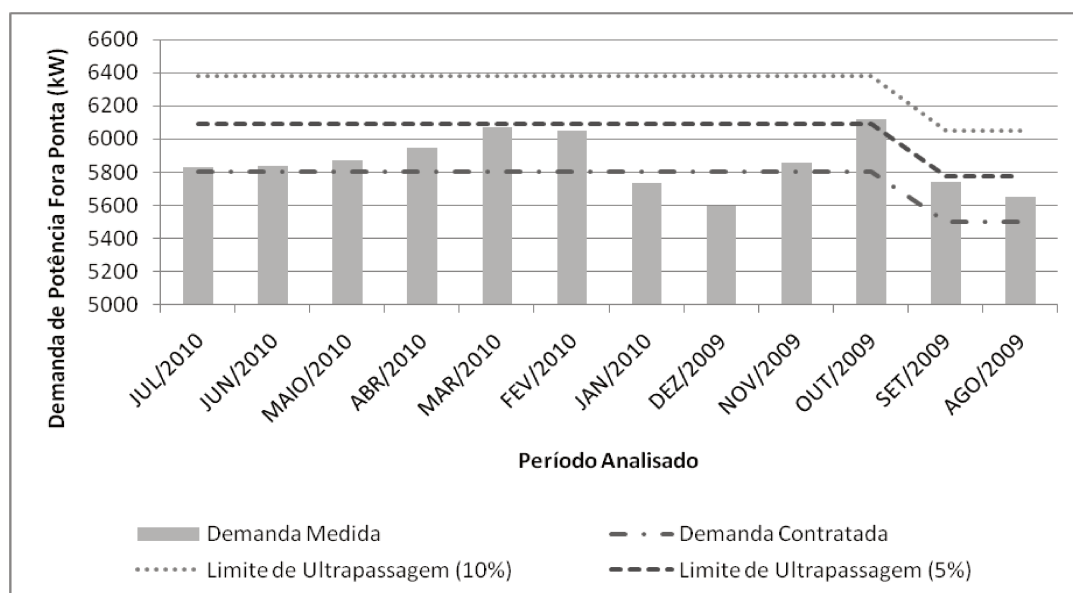
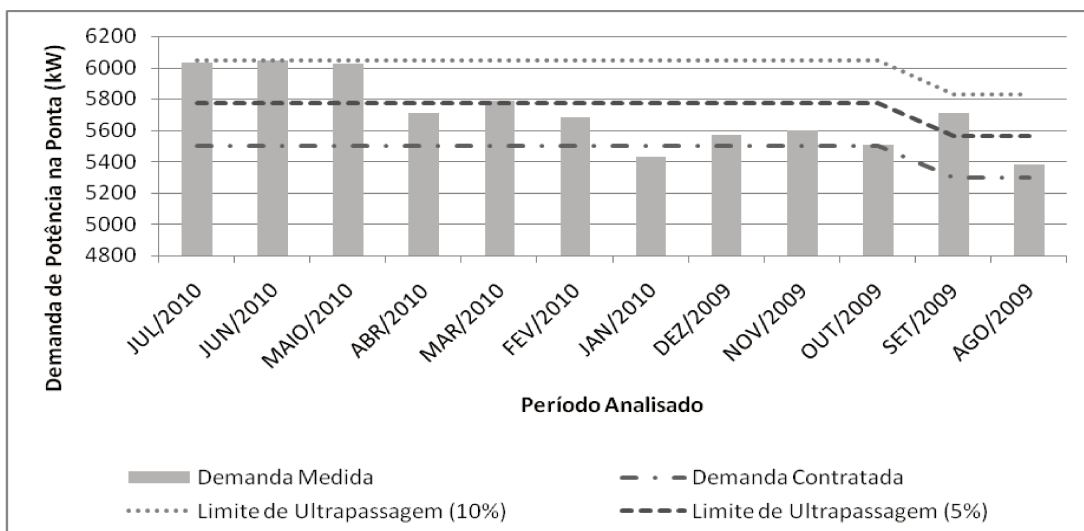
**Tabela 5.4: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial D**

Considerações	Situação Atual	Situação Proposta
Estrutura tarifária	Horo-Sazonal Azul	Horo-Sazonal Azul
Demanda contratada	5.500/5.800 kW	5.513/5.781 kW
Valor médio das faturas mensais	R\$ 803.733,36	R\$ 807.353,33
Economia anual estimada	-	R\$ 8.057,22

Fonte: Elaboração própria

Para a instalação industrial D há também um monitoramento do uso da energia, através de equipe própria de engenheiros e técnicos. A empresa possui programa interno de ações para aumentar a eficiência energética e sempre estão buscando alternativas tecnológicas e de processo para tal. Assim, no quesito enquadramento tarifário a instalação industrial não apresenta nenhuma possibilidade considerável de economia, no ambiente regulado de energia elétrica. É possível fazer um pequeno ajuste na demanda contratada, para eliminar as ultrapassagens (devido ao limite de 5%), porém isso iria trazer um ganho insignificante em termos econômicos.

A Figura 5.4 ilustra o comportamento da demanda na ponta e fora de ponta, respectivamente, ao longo do período analisado.



**Figura 5.4: Comportamento da demanda – Instalação industrial D**

Fonte: Elaboração própria.

### 5.1.5 Instalação industrial E

A Tabela 5.5 apresenta o resumo da análise de enquadramento tarifário para a instalação industrial E.

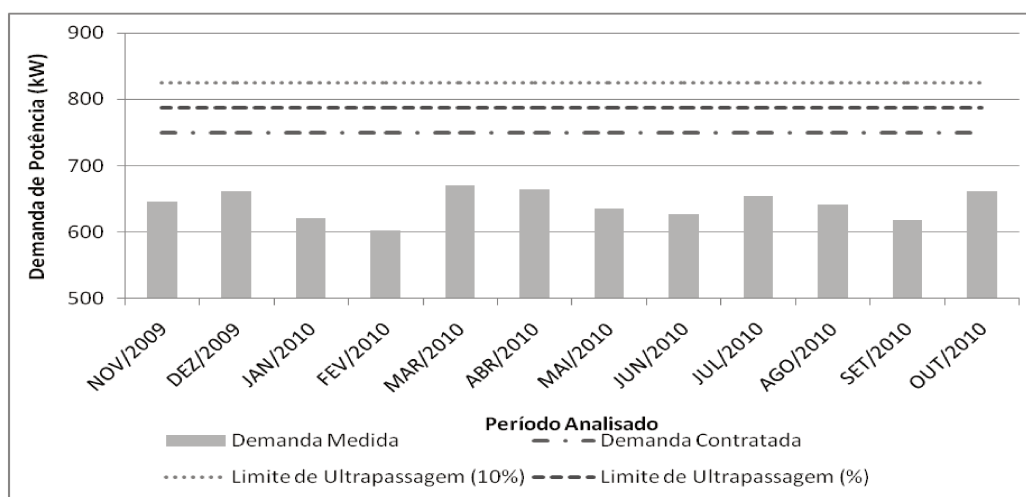
**Tabela 5.5: Resumo da análise do enquadramento tarifário da instalação industrial E**

Considerações	Situação Atual	Situação Proposta
Estrutura tarifária	Horo-Sazonal Verde	Horo-Sazonal Verde
Demanda contratada	750 kW	675 kW
Valor médio das faturas mensais	R\$ 45.704,11	R\$ 44.925,86
Economia anual estimada	-	R\$ 9.338,96

Fonte: Elaboração própria

Para a instalação industrial E há também um monitoramento do uso da energia, através de equipe própria, porém a empresa vem passando por um momento de alterações, inclusive com deslocamento da produção para outra unidade fabril. Assim, no quesito enquadramento tarifário a instalação industrial apresenta possibilidade considerável de economia. Logo, fez-se a sugestão de alteração da demanda contratada para o valor mencionado na Tabela 5.5. Através desta recomendação é possível se obter uma economia anual de mais de R\$ 9.000,00.

A Figura 5.5 ilustra o comportamento da demanda ao longo do período analisado.



**Figura 5.5: Comportamento da demanda – Instalação industrial E**

Fonte: Elaboração própria.

Assim, através das análises das 5 instalações industriais deste trabalho, percebe-se que as empresas atualmente têm se preocupado em reduzir os custos operacionais e isso está diretamente



atrelado aos insumos utilizados por elas em seus diversos processos produtivos. No caso da energia elétrica, a maioria possui uma equipe especializada, própria ou terceirizada, para realizar o monitoramento do uso deste insumo, assim como para buscar soluções tecnológicas, ou de processos para aumentarem a eficiência em suas unidades fabris.

Por fim, do ponto de vista de enquadramento tarifário, todas as instalações industriais estão enquadradas no melhor perfil tarifário. Três delas apresentaram algum ganho devido à alteração da demanda contratada, porém são ganhos pequenos em termos percentuais do montante gasto com energia elétrica por cada instalação industrial. A decisão de realizar, ou não, a recomendação é de cada uma das empresas, mesmo porque pode ser que estas tenham planos de aumento de produção, por exemplo, para o próximo período e a alteração de demanda dependerá de uma análise mais minuciosa.

## 5.2 Fator de carga das instalações industriais (FC)

A Tabela 5.6 apresenta os fatores de cargas das 5 instalações industriais analisadas. A metodologia utilizada para o cálculo deste indicador já foi apresentada no capítulo anterior. Apresentam-se, respectivamente, o fator de carga médio na ponta ( $FC_{MP}$ ) e o fator de carga médio fora de ponta ( $FC_{MFP}$ ).

**Tabela 5.6: Fatores de cargas das instalações industriais**

<b>Indústria</b>	<b>Período Analisado</b>	<b><math>FC_{MP}</math></b>	<b><math>FC_{MFP}</math></b>
Indústria A	Dez/09 a Out/10	-	0,50
Indústria B	Set/09 a Ago/10	0,17	0,38
Indústria C	Set/09 a Ago/10	0,11	0,52
Indústria D	Ago/09 a Jul/10	0,81	0,77
Indústria E	Nov/09 a Out/10	0,16	0,34

Fonte: Elaboração própria

Como visto, o fator de carga é um indicador que aponta a relação entre o consumo de energia elétrica e a demanda de potência máxima multiplicada pelo número de horas em um determinado espaço de tempo, demonstrando como a unidade consumidora utiliza a energia elétrica disponibilizada pela concessionária.

Com isso, pode-se afirmar que há um potencial para o uso racional da energia elétrica, pois como o fator de carga varia de 0 a 1, constata-se que a maior parte das instalações industriais analisadas estão muito longe de um patamar que aproveite de maneira racional a energia disponibilizada. Somente a instalação industrial D apresentou um fator de carga significativo, demonstrando que a empresa tem aproveitado de maneira racional a energia disponibilizada pela concessionária. Destaca-se que o fator de carga varia bastante entre os segmentos industriais e com o arranjo produtivo dotado em cada planta, com o tipo de processo (contínuo ou batelada), dentre outros fatores.

E mais, o valor máximo igual a 1, para o fator de carga, é um valor teórico, utilizado pelo fato de não se ter ainda no Brasil, por subsetor industrial, indicadores reais para a realização de um *benchmarking*. Esse levantamento faz parte do escopo de um projeto de pesquisa, em andamento, coordenado pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da UNICAMP, e que envolve diversas instituições de pesquisa, em todo território nacional. Após a conclusão do estudo, será possível conhecer alguns indicadores de eficiência energética, não só para o setor industrial, como também para o setor de serviços, o que contribuirá, certamente, para futuras comparações dos níveis de eficiência energética entre empresas do subsetor.

### **5.3 Consumos específicos das instalações industriais (CE)**

A Tabela 5.7 apresenta os consumos específicos das 5 instalações industriais analisadas. A metodologia utilizada para o cálculo deste indicador já foi apresentada no capítulo anterior.

**Tabela 5.7: Consumos específicos das instalações industriais**

<b>Instalação Industrial</b>	<b>Período Analisado</b>	<b>Produção Média Mensal</b>	<b>Consumo Médio Mensal (kWh)</b>	<b>CE</b>
Instalação A	Dez/09 a Out/10	160 t	47.470	297 kWh/t
Instalação B	Set/09 a Ago/10	269 t	56.685	211 kWh/t
Instalação C	Set/09 a Ago/10	800 t	285.950	360 kWh/t
Instalação D	Ago/09 a Jul/10	27.000 t	3.298.721	122 kWh/t
Instalação E	Nov/09 a Out/10	214.579 l 107 t	111.106 41.224	0,5 kWh/l 385 kWh/t

Fonte: Elaboração própria

Novamente destacou-se a instalação industrial D, pois apresentou o menor consumo específico, demonstrando utilizar de maneira mais eficiente, entre as instalações industriais analisadas, a energia elétrica. A instalação industrial E apresentou o maior consumo específico (em kWh/t), além de terem sido calculados dois tipos, pois cada produto apresenta uma unidade de medida diferente. Uma das possíveis causas desta instalação industrial apresentar o maior consumo específico pode ser o fato de a empresa estar passando por um processo de reestruturação e suas linhas de produção estarem sendo remanejadas para outra unidade fabril.

#### 5.4 Preço médio de energia (PMe)

A Tabela 5.8 apresenta os preços médios de energia das 5 instalações industriais analisadas. A metodologia utilizada para o cálculo deste indicador já foi apresentada no capítulo anterior.

**Tabela 5.8: Preços médios de energia**

<b>Instalação Industrial</b>	<b>Período Analisado</b>	<b>PM<sub>E</sub> Calculado (R\$/kWh)</b>
Instalação A	Dez/09 a Out/10	0,22
Instalação B	Set/09 a Ago/10	0,22
Instalação C	Set/09 a Ago/10	0,19
Instalação D	Ago/09 a Jul/10	0,21
Instalação E	Nov/09 a Out/10	0,24

Fonte: Elaboração própria

Vale ressaltar que o valor do preço médio de energia pode variar para consumidores de uma mesma modalidade tarifária, devido à influência do fator de carga.

## **5.5 Análises dos índices de carregamento dos principais motores elétricos**

A seguir são mostrados os resultados das medições realizadas em campo, já descritas nos capítulos anteriores. Analisou-se o índice de carregamento dos principais motores elétricos e circuitos das instalações industriais participantes desta pesquisa. Foram medidos os equipamentos e circuitos que se caracterizam como maiores consumidores de energia elétrica em cada instalação industrial visitada, tendo como objetivo identificar o uso da energia elétrica e verificar a possibilidade de racionalização deste insumo.

É importante lembrar que, para todos os casos a seguir, as medições foram realizadas em um período típico de produção da empresa. Além disso, apresentam-se os valores médios do fator de potência dos equipamentos, porém, o dimensionamento destes bancos não foi tratado nesta dissertação. Ressalte-se que, de acordo com a resolução 456/2000 da ANEEL e do Decreto nº 479 de 20 de Março de 1992, o valor mínimo para o fator de potência deve ser igual a 0,92. Aquela instalação que não atender a este valor será penalizada, através da aplicação de multa em sua fatura de energia elétrica.

O fator de potência também é considerado um indicador de eficiência energética, pois um alto fator de potência indica uma eficiência alta e, por outro lado, um fator de potência baixo indica baixa eficiência energética. Dentre as consequências ocasionadas pelo baixo fator de potência, destacam-se:

- O aumento da corrente elétrica, que resulta no aumento das perdas por efeito Joule.
- Com esse aumento da corrente, aumenta-se a queda de tensão.
- Faz com que o sistema seja subutilizado.

Portanto, de posse das características elétricas dos equipamentos e circuitos e das medições realizadas, foi feito um comparativo para determinar a situação de carregamento de cada equipamento (ou circuito), observando se os mesmos encontravam-se sub ou superdimensionados, podendo, assim, sugerir uma análise de substituição de cada equipamento ou conjunto por outros que atendessem as reais necessidades de utilização.

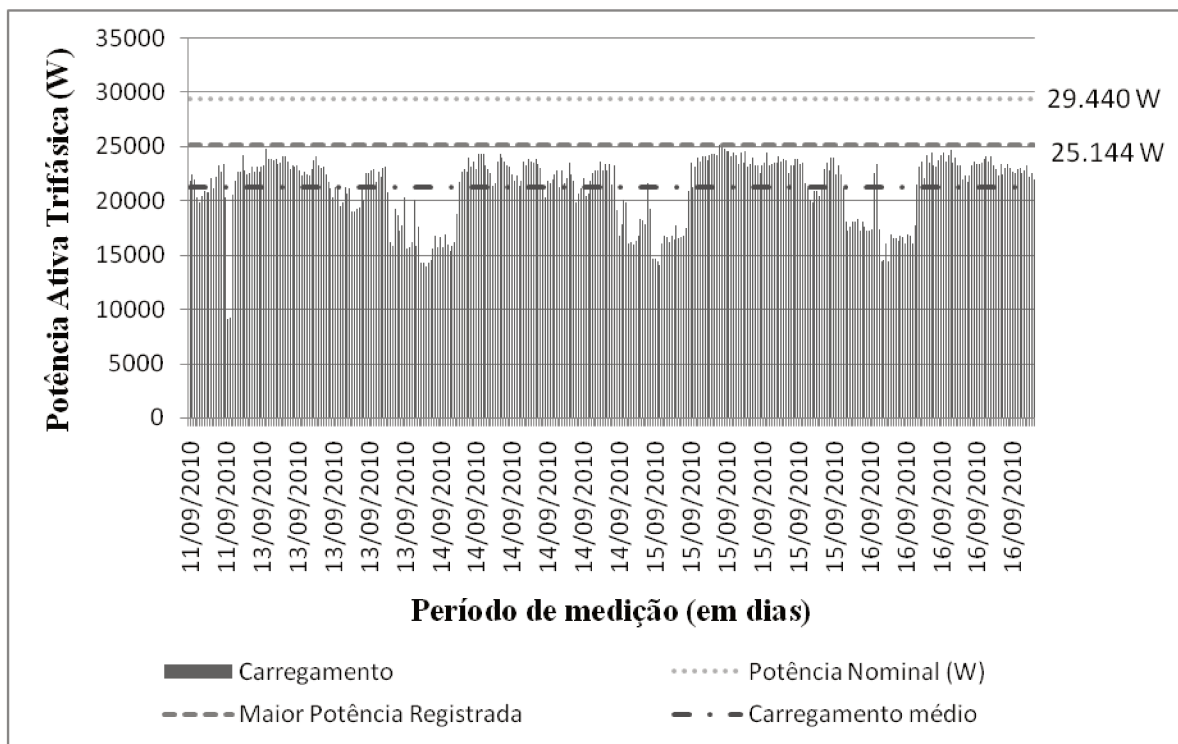
A avaliação foi realizada com base em um dos parâmetros elétricos coletados, a Potência Elétrica Ativa Trifásica ( $P_T$ ). Esta metodologia foi utilizada por Rossi *et al* (2010), quando realizaram uma avaliação nos motores dos compressores de frio de um frigorífico, com o objetivo de estimar o potencial de economia de energia elétrica. Foi identificado que os índices de eficiência elétrica eram baixos, demonstrando haver oportunidade para adoção de medidas de conservação e de racionalização da energia elétrica. Por fim, o estudo sugeriu a substituição dos motores atuais por outros de menor potência e maior rendimento, assim como demonstrou a análise da viabilidade técnico-econômica desta substituição.

Destaca-se, por fim, que todos os motores elétricos analisados foram do tipo indução trifásicos, os quais são amplamente utilizados, principalmente nas indústrias. Apesar de apresentarem diversas vantagens (menor custo, atendem a uma grande gama de cargas, ligação a rede é simples, dentre outras), tais motores têm como principais desvantagens o fato de terem um baixo fator de potência, quando operam com carga parcial, assim como o rendimento dos mesmos também é baixo, para cargas inferiores a 50% da potência nominal. Ao longo desta seção, serão mostradas diversas situações de operação dos motores elétricos.

### 5.5.1 Instalação industrial A

Equipamento: compressor de ar comprimido
Potência nominal: 40 CV (29.440 W)
Fator de potência médio medido: 0,75

A Figura 5.6 ilustra a análise do índice de carregamento do motor elétrico do compressor de ar comprimido.



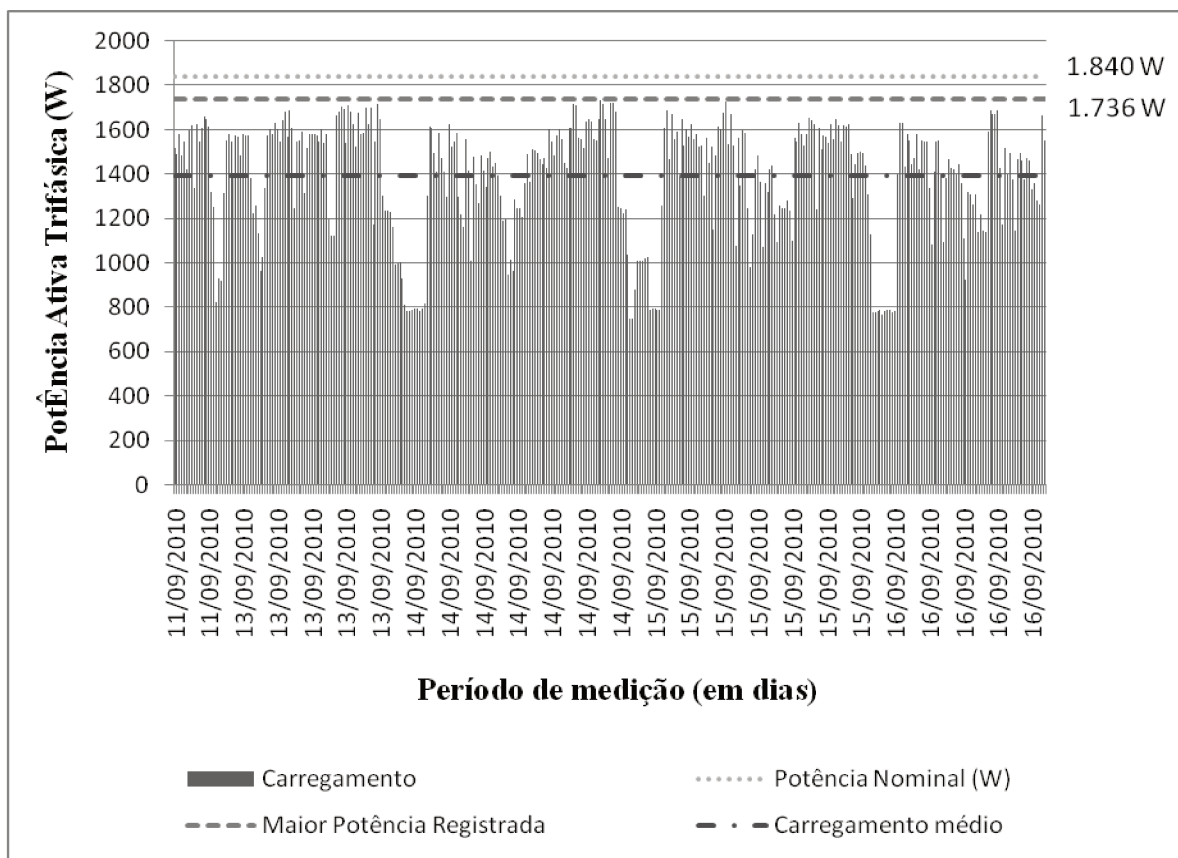
**Figura 5.6: Análise do índice de carregamento: compressor de ar comprimido**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.6, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 4.295 W (ou aproximadamente 6 CV). Detectou-se, também, a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência

Equipamento: empacotadeira
Potência nominal: 2,5 CV (1.840 W)
Fator de potência médio medido: 0,63

A Figura 5.7 ilustra a análise do índice de carregamento do motor da empacotadeira.



**Figura 5.7: Análise do índice de carregamento: empacotadeira**

Fonte: Elaboração própria.

Através da Figura 5.7 constata-se que a utilização deste equipamento está coerente com o dimensionamento do motor, não havendo, portanto, oportunidade de redução da potência instalada. Ressalte-se, também, que, neste caso, o motor utilizado já é de alto rendimento. Porém, detectou-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência.

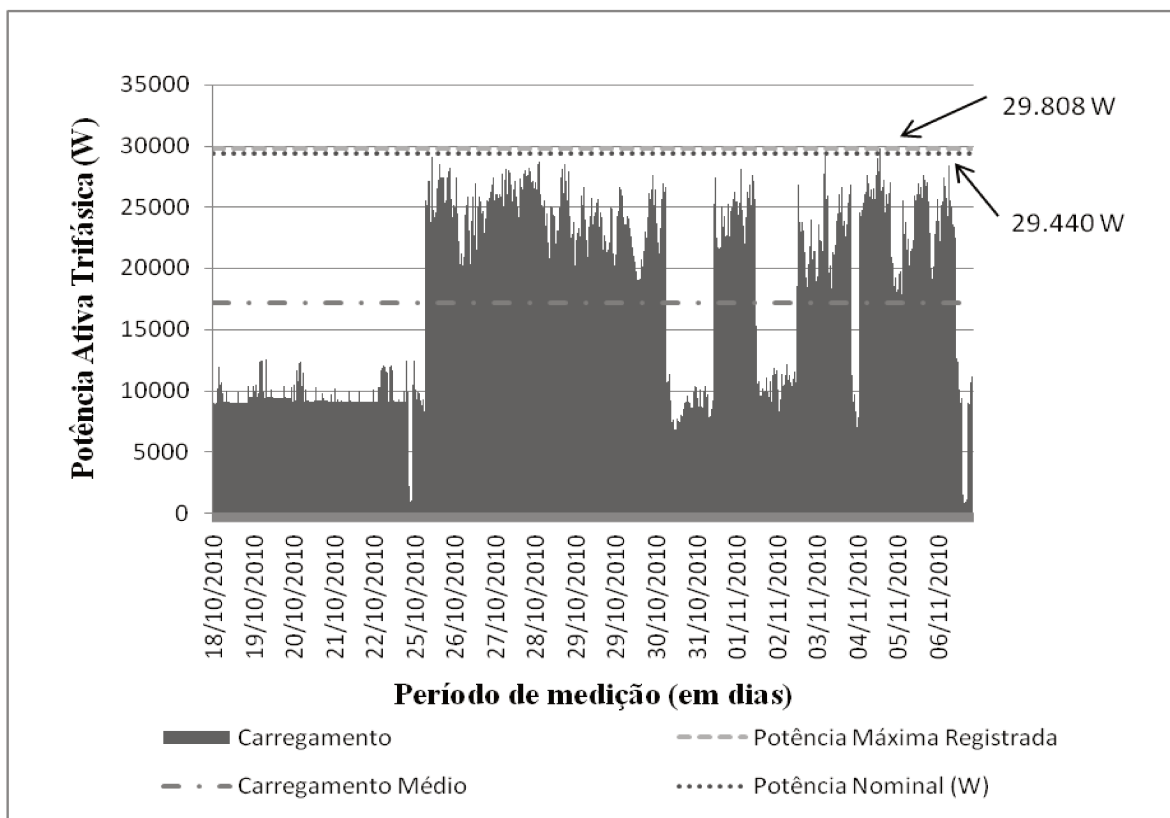
A medição realizada na extrusora foi descartada da etapa de análise, pois após o período de medição realizada em campo, foi constatado que, no circuito onde havia sido informado inicialmente que era o alimentador exclusivo da extrusora, haviam outras cargas conectadas, as quais não foram identificadas. Para a análise do alimentador geral da instalação industrial, foram consideradas as faturas de energia elétrica, conforme ilustrado na seção 5.1.1, e, portanto, não foi considerada nesta seção a medição realizada no disjuntor geral da instalação industrial.

### 5.5.2 Instalação industrial B

No caso da instalação industrial B só foi possível analisar a medição realizada nos motores elétricos da caldeira, pois nos demais circuitos onde foram realizadas as medições, faltaram dados fundamentais para esta análise, como a potência nominal dos motores elétricos que compõem as linhas de produção.

Equipamento: motores elétricos da caldeira
Potência nominal: 40 CV (29.440 W)
Fator de potência médio medido: 0,89

A Figura 5.8 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos da caldeira.



**Figura 5.8: Análise do índice de carregamento: motores da caldeira (Instalação B)**

Fonte: Elaboração própria.

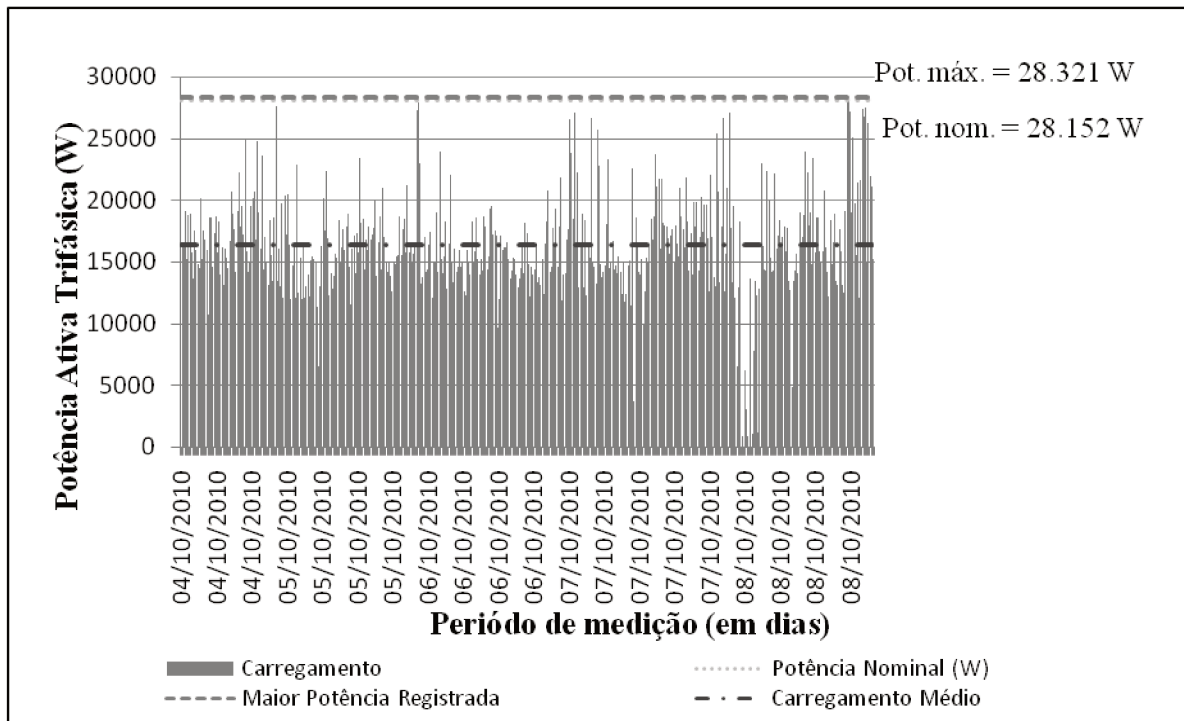


Através da Figura 5.8 constata-se que a utilização destes motores está coerente com o dimensionamento, não havendo, portanto, oportunidade de redução da potência instalada. Porém, detectou-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência.

### 5.5.3 Instalação industrial C

Equipamento: conjunto de motores elétricos da caldeira
Potência nominal: 38,25 CV do conjunto (28.152 W)
Fator de potência médio medido: 0,66

A Figura 5.9 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos da caldeira.



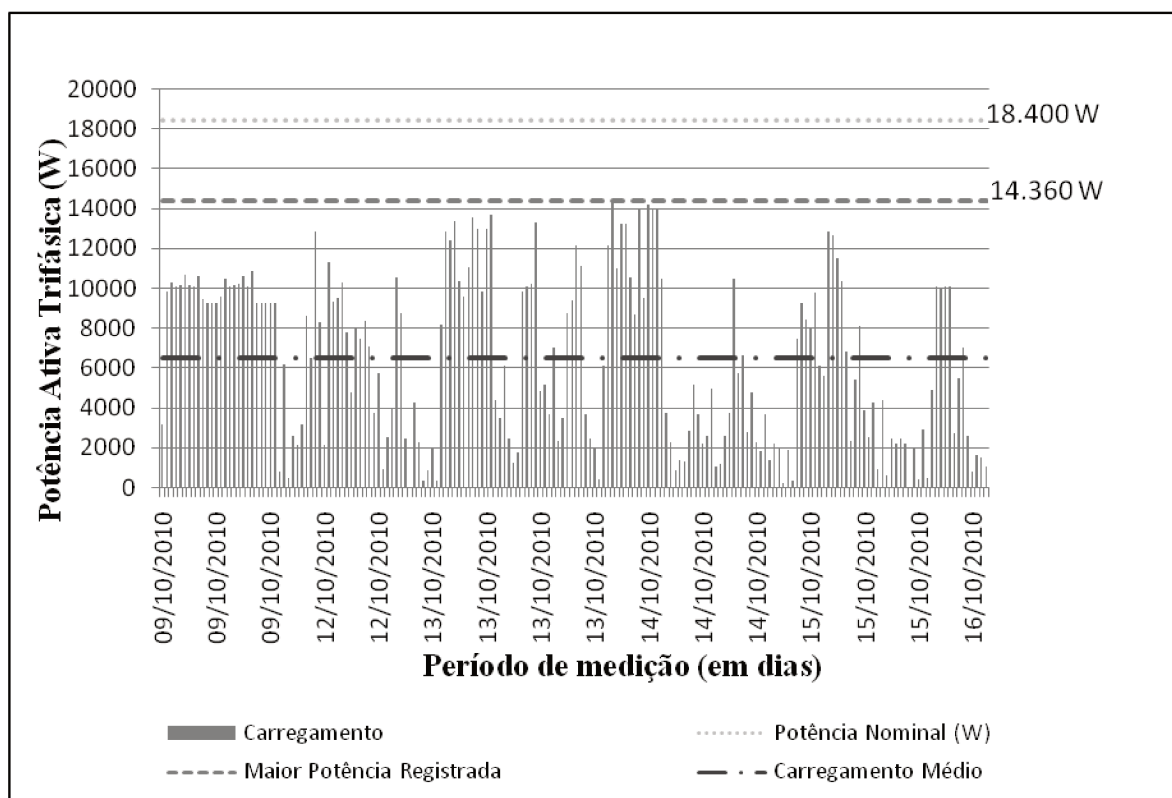
**Figura 5.9: Análise do índice de carregamento: motores da caldeira (Instalação C)**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.9, constata-se que a utilização deste conjunto de motores elétricos está coerente, não havendo, portanto, oportunidade de redução da potência instalada. Porém, detectou-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência. Isso se deve ao fato de, segundo Eletrobrás (2000), quando há um grande número de motores de pequena potência em operação, esta é uma das causas da ocorrência de um baixo fator de potência. Esta afirmativa é válida para os demais casos identificados nesta dissertação, onde se tem baixo fator de potência e conjunto de pequenos motores elétricos.

Equipamento: compressor de ar comprimido
Potência nominal: 25 CV (18.400 W)
Fator de potência médio medido: 0,77

A Figura 5.10 ilustra a análise do índice de carregamento do motor elétrico do compressor de ar comprimido.



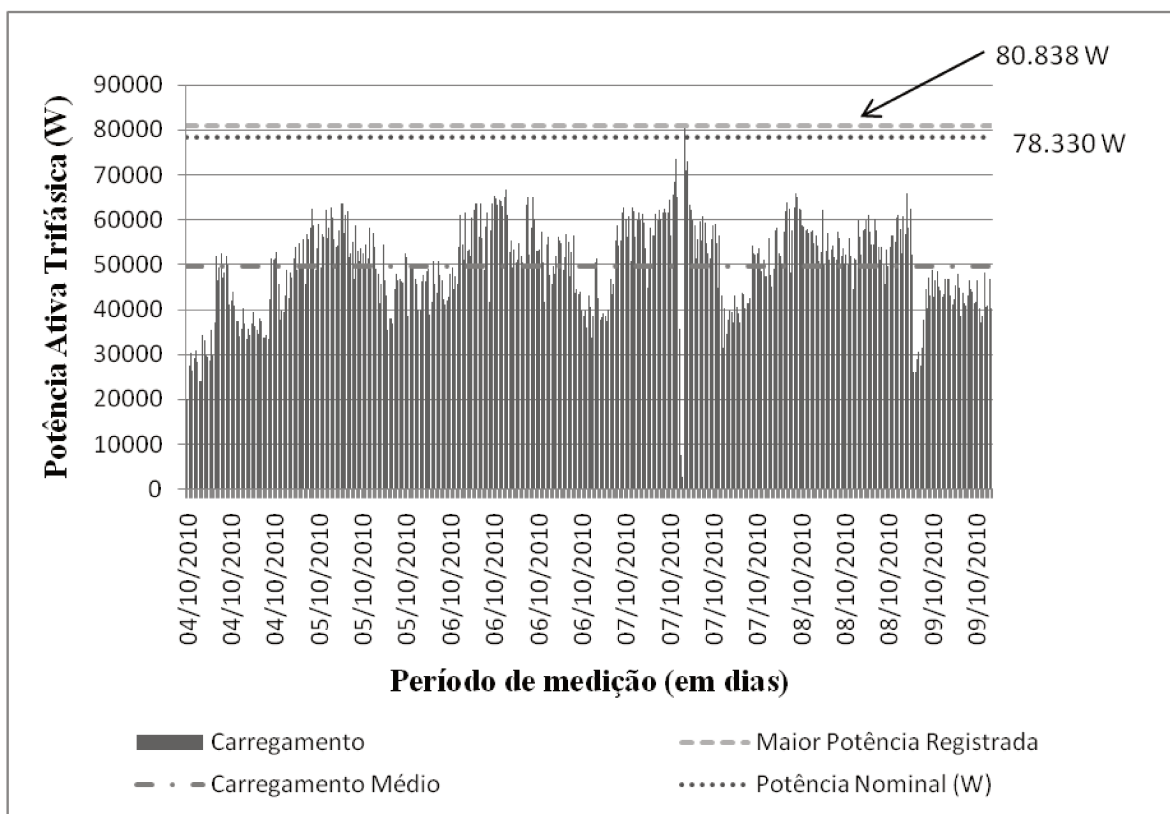
**Figura 5.10: Análise do índice de carregamento: compressor de ar comprimido**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.10, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 4.040 W (ou aproximadamente 5 CV. Detectou-se, também, a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência.

Equipamento: conjunto de motores elétricos de 3 compressores de frio
Potência nominal: 35 CV cada - 105 CV do conjunto (78.330 W)
Fator de potência médio medido: 0,85

A Figura 5.11 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos dos compressores de frio.



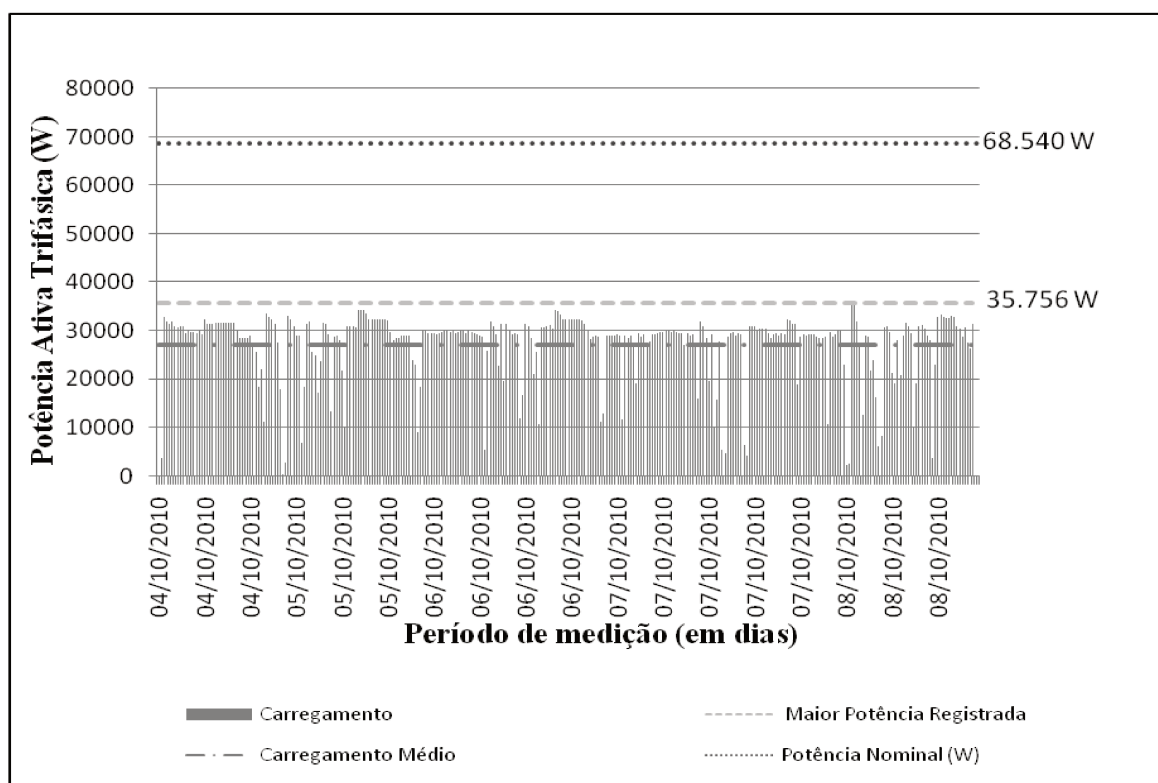
**Figura 5.11: Análise do índice de carregamento: compressores de frio**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.11, observa-se que, considerando o maior valor de potência medido, não há oportunidade de redução na potência. Novamente, detectou-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência.

Equipamento: conjunto de motores elétricos de uma estufa de cozimento
Potência nominal: 93,125 CV do conjunto (68.540 W)
Fator de potência médio medido: 0,70

A Figura 5.12 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos que compõem uma estufa de cozimento.



**Figura 5.12: Análise do índice de carregamento: motores de uma estufa**

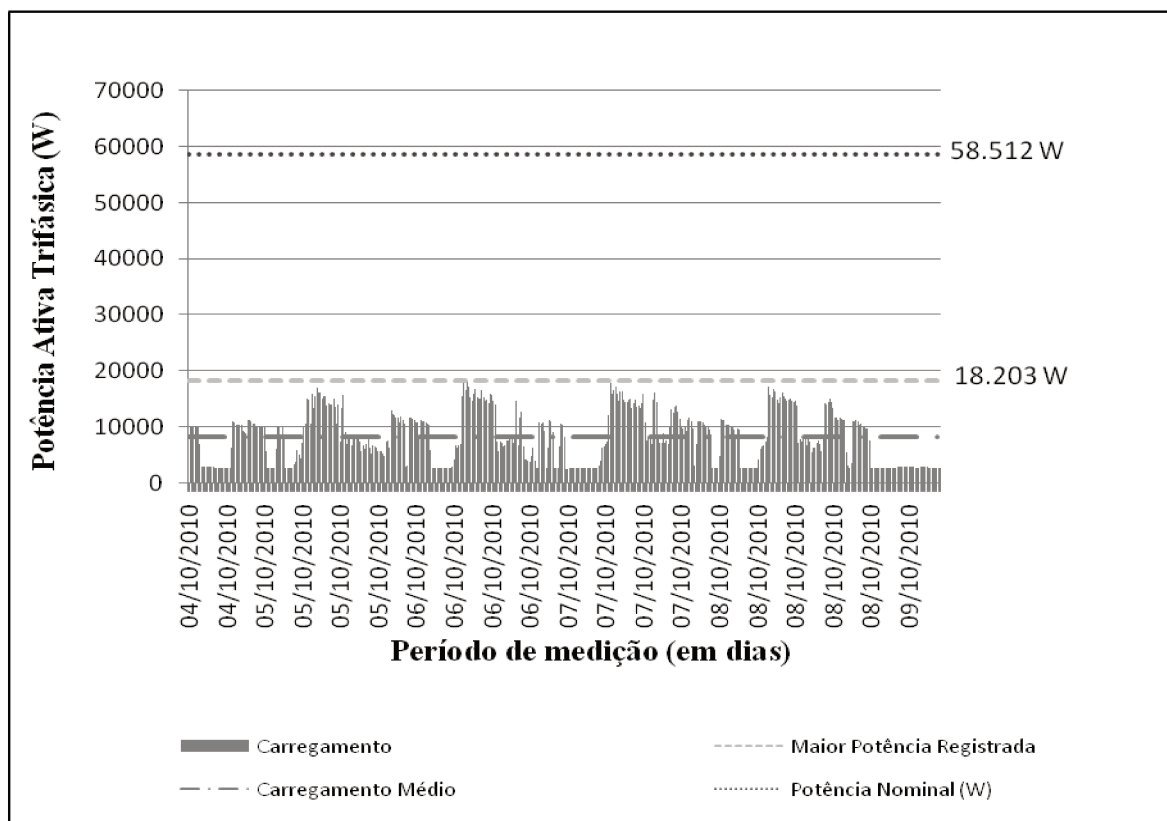
Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.12, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 32.784 W (ou aproximadamente 45 CV). Este potencial é significativo, pois se verificou que a potência máxima utilizada corresponde a aproximadamente 53% da

potência nominal instalada. Ou seja, está ocorrendo um superdimensionamento neste sistema e, como visto, nestas condições, tanto o fator de potência, como o rendimento dos motores, apresentam valores muito baixos, ineficientes. Portanto, sugerem-se como medidas para aperfeiçoar o uso da energia elétrica, reavaliar as potências dos motores, assim como a real necessidade do sistema. Por conseqüência, tem-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência.

Equipamento: conjunto de motores elétricos da linha de <i>pig beef</i>
Potência nominal: 79,5 CV do conjunto (58.512 W)
Fator de potência médio medido: -0,90

A Figura 5.13 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos que compõem a linha de produção do *pig beef*.



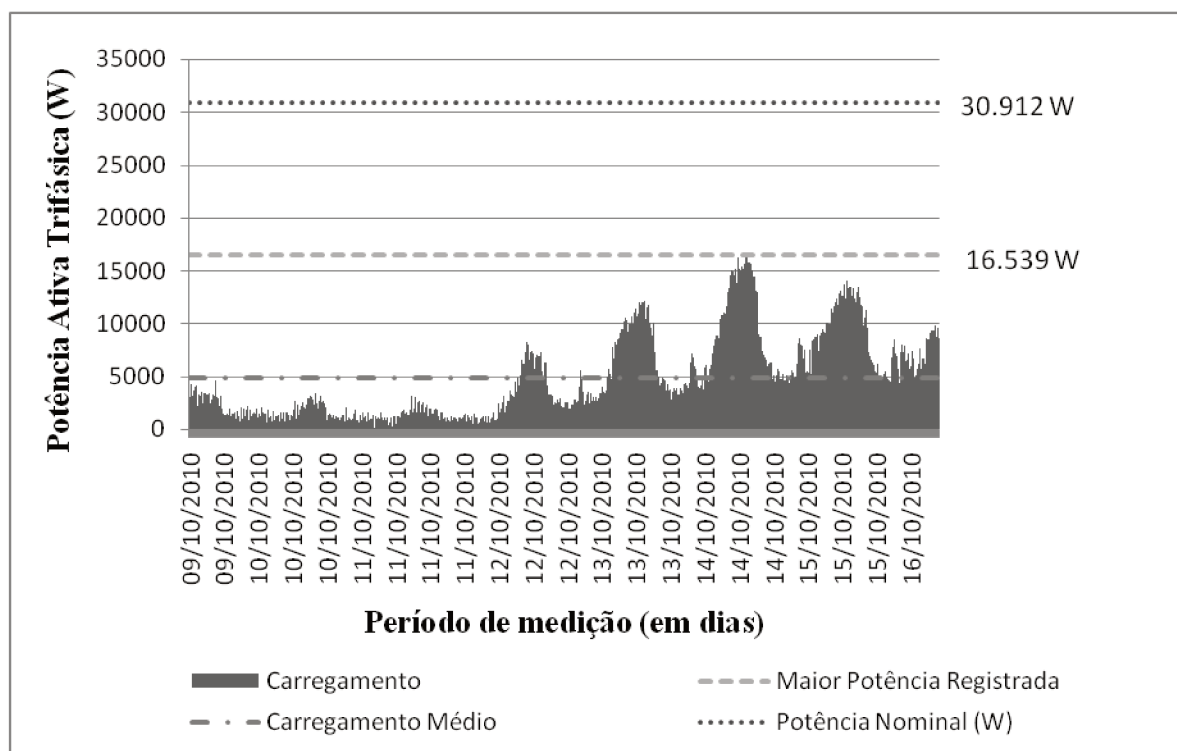
**Figura 5.13: Análise do índice de carregamento: motores da linha do *pig beef***

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.13, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 40.309 W (ou aproximadamente 55 CV). A análise destes motores é similar a realizada para a Figura 5.12. Detectou-se também a necessidade de uma melhor avaliação, por parte da instalação industrial, em relação ao fator de potência deste circuito, pois o mesmo se encontra capacitivo. É provável que se tenha um banco de capacitores permanentemente ligado, o que está ocasionando o excesso de reativo na rede. Outro ponto a ser avaliado é a presença de harmônicos na rede.

Equipamento: conjunto de motores elétricos do condensador
Potência nominal: 42 CV do conjunto (30.912 W)
Fator de potência médio medido: 0,46

A Figura 5.14 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos que compõem um dos condensadores da instalação industrial em questão.



**Figura 5.14: Análise do índice de carregamento: motores do condensador**

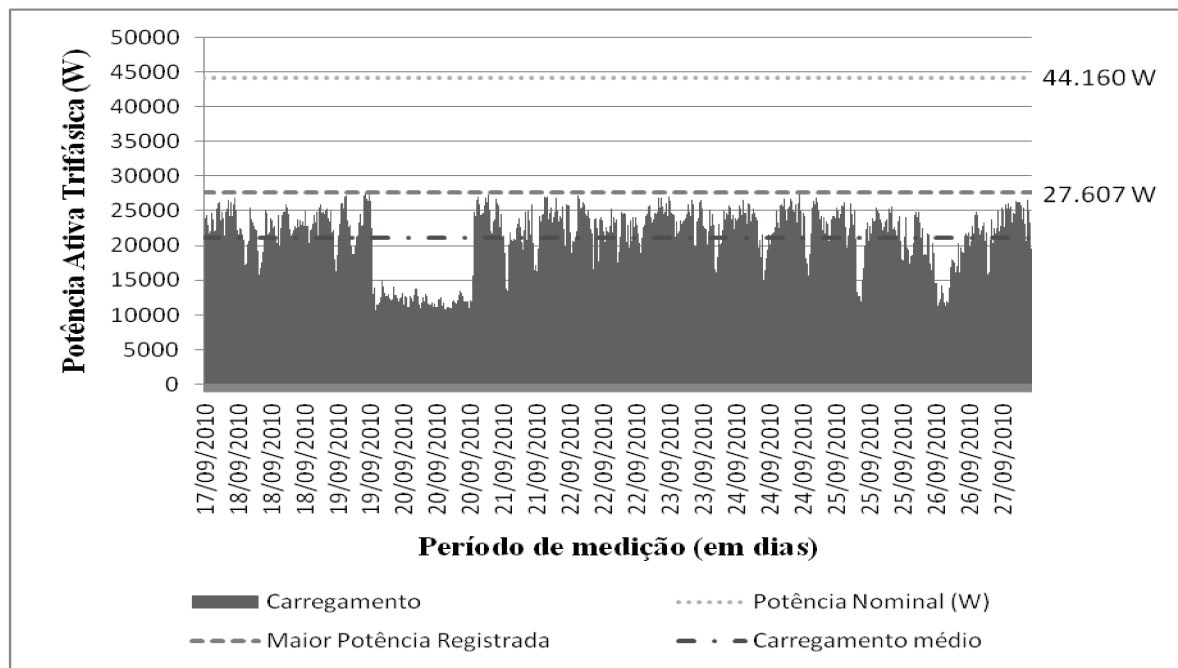
Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.14, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 14.373 W (ou aproximadamente 20 CV). Neste caso também se sugere uma reanálise das potências dos motores elétricos e das reais necessidades do sistema. Detectou-se também a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência. Como já visto, quando se utilizam diversos motores de pequena potência, o fator de potência tende a ser baixo.

#### 5.5.4 Instalação industrial D

Equipamento: bomba de circulação de água I – sistema de água gelada
Potência nominal: 60 CV (44.160 W)
Fator de potência médio medido: 0,92

A Figura 5.15 ilustra a análise do índice de carregamento do motor elétrico da bomba de circulação de água gelada.



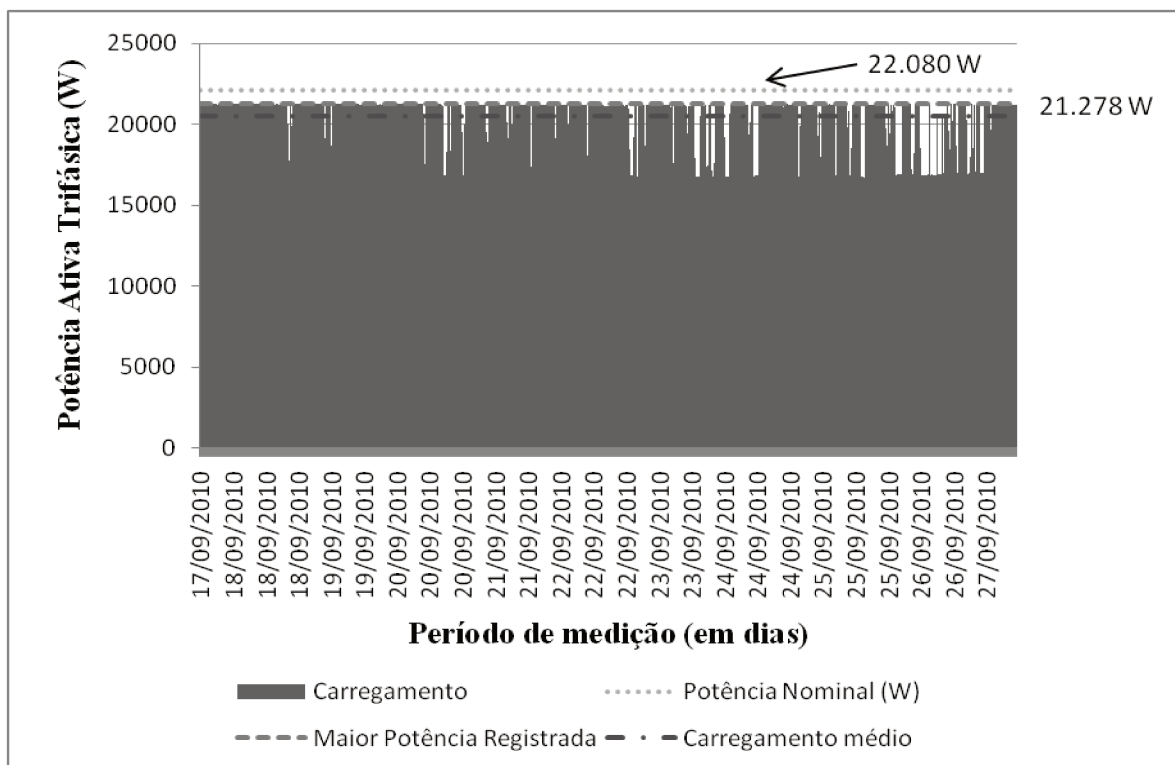
**Figura 5.15: Análise do índice de carregamento: bomba de circulação de água I**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.15, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 16.553 W (ou aproximadamente 22 CV). Por se tratar de apenas um motor elétrico, deve-se reavaliar a utilização deste, pois o mesmo está superdimensionado, o que ocasiona um baixo rendimento e conseqüentemente um baixo índice de eficiência energética. Neste caso, não foi detectada a necessidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência, uma vez que o valor encontrado atende a legislação vigente.

Equipamento: bomba de circulação de água II – sistema de água gelada
Potência nominal: 30 CV (22.080 W)
Fator de potência médio medido: 0,82

A Figura 5.16 ilustra a análise do índice de carregamento do motor elétrico da bomba de circulação de água gelada.



**Figura 5.16: Análise do índice de carregamento: bomba de circulação de água II**

Fonte: Elaboração própria.

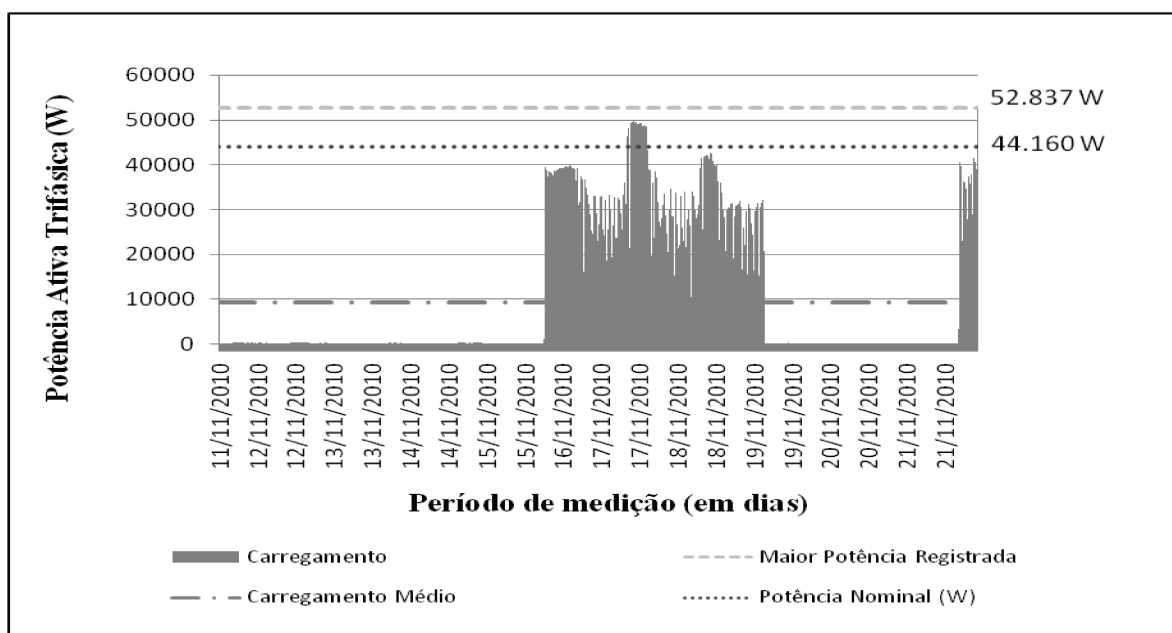


Com base na Figura 5.16, constata-se que a utilização desta bomba está coerente, não havendo, portanto, oportunidade de redução da potência instalada. Porém, detectou-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência. Lembra-se que, um motor de indução em plena carga pode apresentar fator de potência na faixa de 80% a 90% (ELETROBRÁS, 2000). A medição realizada no compressor de frio não pôde ser analisada, pois durante o período de medição, o equipamento utilizado apresentou problemas na memória e, portanto, os dados não foram armazenados.

### 5.5.5 Instalação industrial E

Equipamento: motores elétricos da câmara de refrigeração
Potência nominal: 60 CV do conjunto (44.160 W)
Fator de potência médio medido: 0,83

A Figura 5.17 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos da câmara de refrigeração.



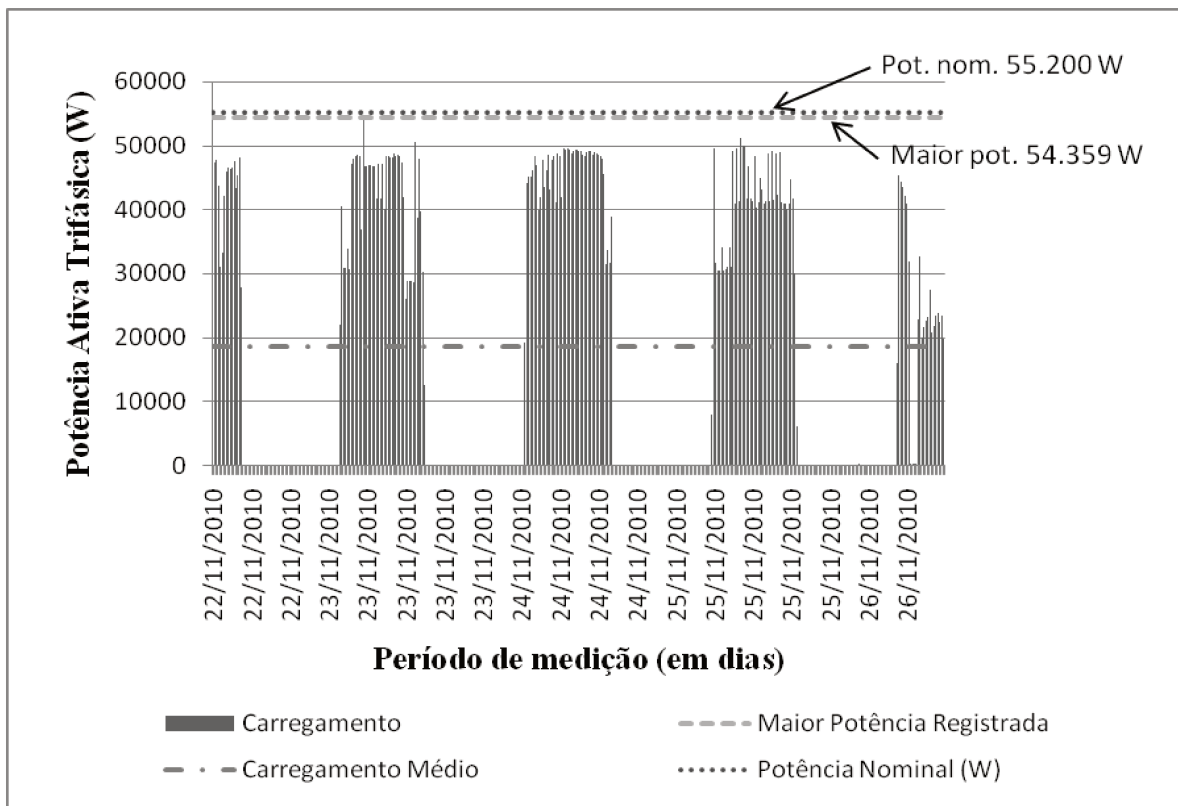
**Figura 5.17: Análise do índice de carregamento: motores da câmara de refrigeração**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.17, constata-se que a utilização destes motores elétricos está coerente, não havendo, portanto, oportunidade de redução da potência instalada. Porém, detectou-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência.

Equipamento: ar condicionado
Potência nominal: 75 CV (55.200 W)
Fator de potência médio medido: 0,78

A Figura 5.18 ilustra a análise do índice de carregamento do motor elétrico do ar condicionado central da instalação industrial.



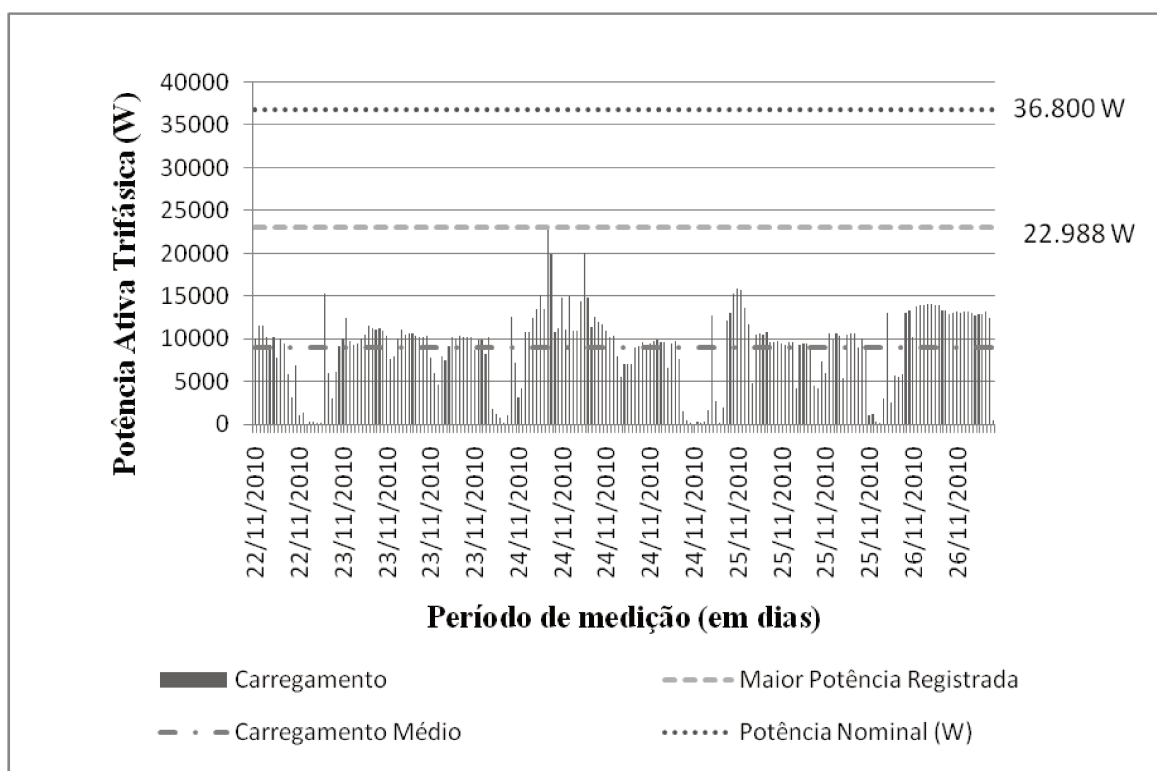
**Figura 5.18: Análise do índice de carregamento: motor do ar condicionado**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.18, constata-se que a utilização deste motor elétrico está coerente, não havendo, portanto, oportunidade de redução da potência instalada. Porém, detectou-se a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência. Neste caso, é válido lembrar que a carga exerce forte influência em relação ao fator de potência. Quando se tem cargas com regime de serviço variável, pode-se ter baixo fator de potência.

Equipamento: motores elétricos da caldeira
Potência nominal: 50 CV do conjunto (36.800 W)
Fator de potência médio medido: 0,71

A Figura 5.19 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos da caldeira.



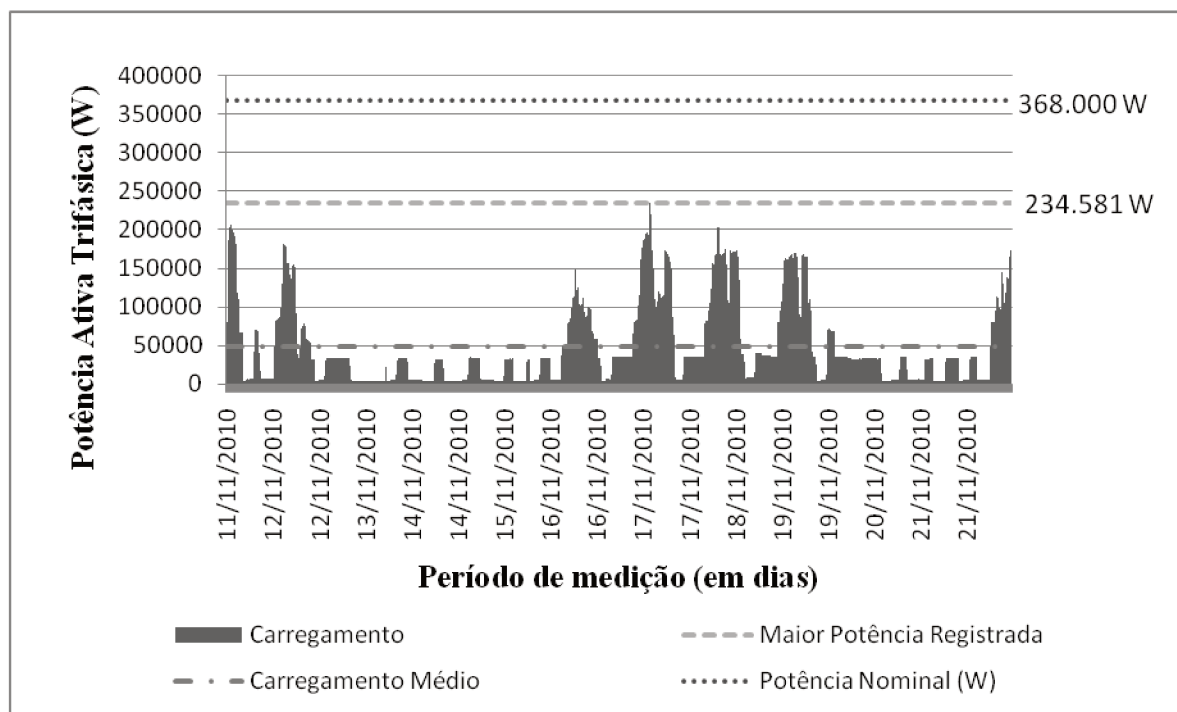
**Figura 5.19: Análise do índice de carregamento: motores da caldeira (Instalação E)**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.19, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 13.812 W (ou aproximadamente 19 CV) Novamente, destaca-se a necessidade de reavaliação do sistema, pois, como visto, nestas condições, os motores elétricos operam de maneira ineficiente. Detectou-se também a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência. O porquê do baixo fator de potência, nesta situação, já foi comentado em situações similares.

Equipamento: motores elétricos da linha do Produto A
Potência nominal: 500 CV do conjunto (368.000 W)
Fator de potência médio medido: 0,78

A Figura 5.20 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos da linha do Produto A.



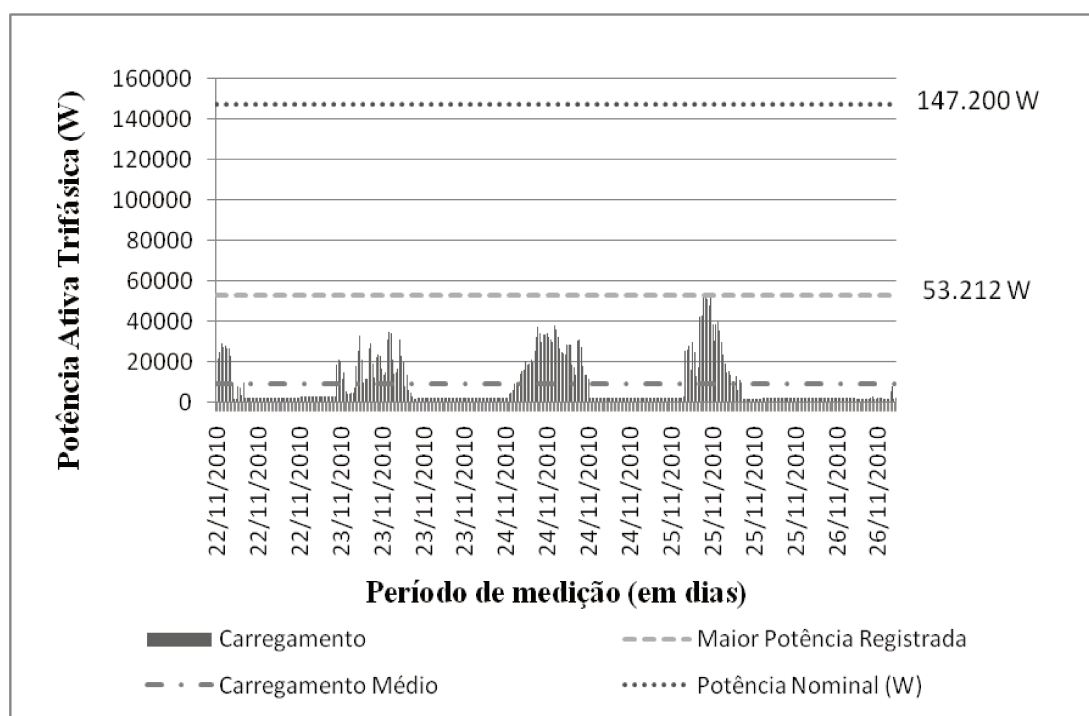
**Figura 5.20: Análise do índice de carregamento: motores da linha – Produto A**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.20, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 133.419 W (ou aproximadamente 181 CV). Neste caso, assim como nas próximas duas análises, existem potenciais bastante significativos de redução da potência instalada e, conseqüentemente, de economia de energia elétrica. Ressalte-se que esta instalação industrial está em processo de readequação de suas linhas produtivas, pois boa parte da produção foi deslocada para outra unidade fabril. Logo, a sugestão é que a empresa faça uma adequação das linhas para o novo patamar de produção. Detectou-se também a oportunidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência.

Equipamento: motores elétricos da linha do Produto B
Potência nominal: 200 CV do conjunto (147.200 W)
Fator de potência médio medido: --

A Figura 5.21 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos da linha do Produto B.



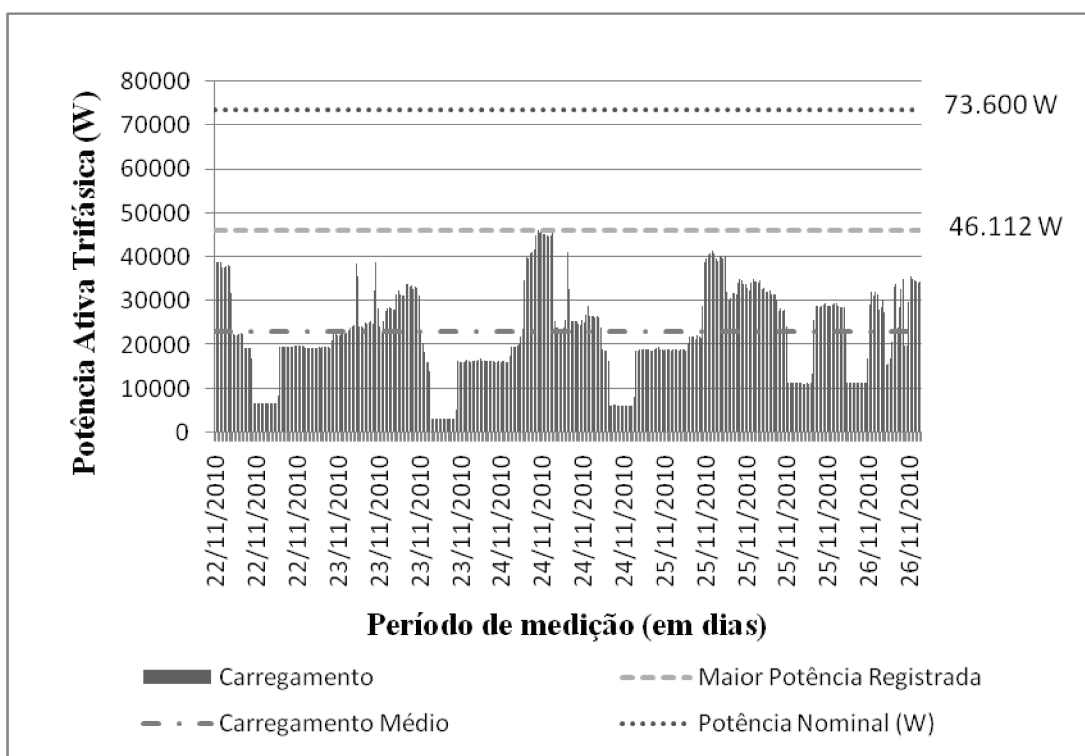
**Figura 5.21: Análise do índice de carregamento: motores da linha – Produto B**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.21, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 93.988 W (ou aproximadamente 128 CV). Detectaram-se também problemas com o fator de potência. Portanto, uma análise detalhada se faz necessário para o correto parecer a respeito do fator de potência desta linha de produção.

Equipamento: motores elétricos do sistema de água gelada
Potência nominal: 100 CV do conjunto (73.600 W)
Fator de potência médio medido: -0,22

A Figura 5.22 ilustra a análise do índice de carregamento dos motores elétricos do sistema de água gelada da instalação industrial.



**Figura 5.22: Análise do índice de carregamento: motores do sistema de água gelada**

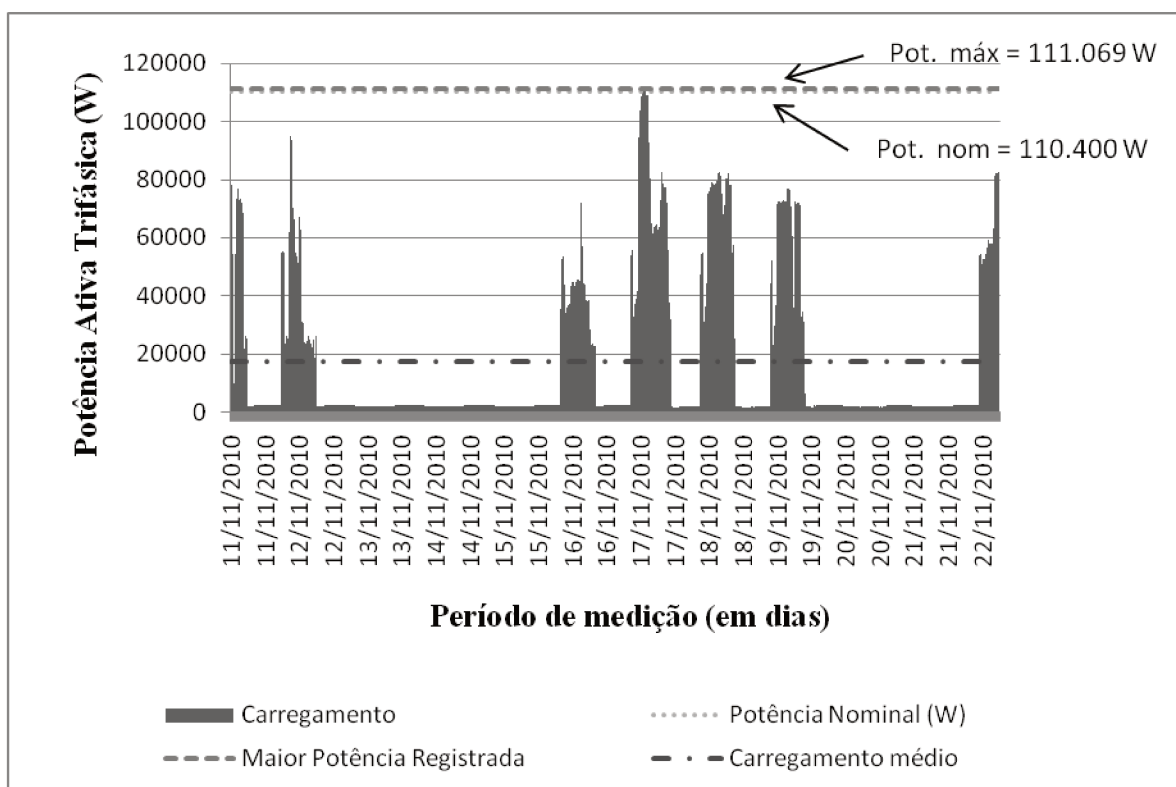
Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.22, observa-se que há uma oportunidade de redução na potência instalada equivalente a 27.488 W (ou aproximadamente 37 CV). Os comentários para este caso

são idem ao realizado para a Figura 5.13. Detectaram-se problemas com o fator de potência deste circuito, pois o mesmo, além de apresentar um baixo valor, apresenta-se com excesso de reativo.

Equipamento: compressor de ar comprimido
Potência nominal: 150 CV (110.400 W)
Fator de potência médio medido: 0,93

A Figura 5.23 ilustra a análise do índice de carregamento do motor elétrico do compressor de ar comprimido.



**Figura 5.23: Análise do índice de carregamento: compressor de ar comprimido**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 5.23, observa-se que não há oportunidade de redução na potência. Também não foi detectada a necessidade de instalação de banco (s) de capacitor (es) para a correção do fator de potência, uma vez que o valor encontrado atende a legislação vigente.

## 5.6 Análise do potencial de redução da potência instalada das instalações industriais

Portanto, ao final das análises de carregamento dos principais motores elétricos presentes nas 5 instalações industriais visitadas, considerando como premissa que as condições em que se realizaram as medições são equivalentes a um período típico de produção, pode-se identificar o potencial de redução da potência instalada, como mostra a Tabela 5.9.

**Tabela 5.9: Potencial de redução da potência instalada**

<b>Instalação Industrial</b>	<b>Potencial de redução da potência instalada (em CV)</b>
Instalação A	6
Instalação B	-
Instalação C	125
Instalação D	22
Instalação E	365
<b>Total</b>	<b>518</b>

Fonte: Elaboração própria

Obviamente que cada instalação industrial deve avaliar se, de fato, é viável esta redução da potência instalada, pois o que ocorre em muitos casos é que as empresas dimensionam os equipamentos e circuitos já com um fator de sobredimensionamento, visando, dentre outras coisas, deixarem uma estrutura pronta para o aumento da produção. No caso da instalação industrial E, é importante lembrar que esta unidade passa por um processo interno de adequação, pois com a inauguração de outra unidade fabril, a produção foi dividida com esta nova unidade, o que deixou, ao menos temporariamente, equipamentos e circuitos ociosos.



## 5.7 Novas tecnologias na indústria para redução do consumo de energia

Nesta seção apresentam-se algumas tecnologias consideradas mais eficientes energeticamente, disponíveis atualmente no mercado. Ressalte-se a importância não apenas de se tentar reduzir o uso dos recursos, a exemplo da energia elétrica, como também o fato de que com esta redução as empresas conseguem aumentar a competitividade, o que é fundamental na atualidade. Além disso, tem-se também a preocupação com a questão ambiental, pois com a utilização racional dos recursos, consegue-se reduzir também os impactos ambientais.

Diversas pesquisas têm sido realizadas no intuito de desenvolver tecnologias e processos cada vez mais eficientes. No caso do setor industrial, destacam-se as pesquisas ligadas aos sistemas motrizes, sendo estes grandes ofensores no quesito consumo de energia elétrica, assim como em sistemas de iluminação artificial. A seguir são citados os principais aspectos de algumas dessas tecnologias inovadoras, com base em um estudo publicado pela CNI/PROCEL/ELETROBRÁS (2010):

- **Rede Elétrica Inteligente (*smart grid*):** trata-se de rede que consegue integrar de forma inteligente as ações de todos os utilizadores a ela ligados (produtores, consumidores ou ambos), com o objetivo de disponibilizar um conjunto de bens e serviços de maneira eficiente. Com essa tecnologia, as empresas, com destaque para as distribuidoras de energia, podem dispor de informações em tempo real sobre o uso final de seu produto em cada um de seus consumidores, o que lhes permite contar com eficiência energética sustentável e melhorar sua competitividade.
- **Light Emission Diode (LED):** componente eletrônico semiconductor capaz de converter energia elétrica em luz. Dentre suas vantagens citam-se a maior vida útil, os menores custos de manutenção, a maior eficiência energética, além da possibilidade de controle dinâmico de cor e intensidade. Além disso, são ecologicamente corretos, pois não utilizam mercúrio ou qualquer outro elemento que cause dano à natureza e não emitem radiação ultravioleta ou infravermelha. Esta tecnologia é uma tendência para os próximos anos e, no segmento de alimentos e bebidas, também há um grande campo para sua aplicação, pois não foi constatado o uso desta tecnologia nas instalações visitadas.

- **Outros sistemas de iluminação eficientes:** além da tecnologia LED, diversos tipos de lâmpadas, reatores, luminárias e tecnologias *light pipe* (sistema de tubos ópticos de policarbonato cristal que confere uniformidade e suavidade à propagação da luz) podem reduzir significativamente o consumo de energia e os gastos com manutenção associados à iluminação de instalações industriais. Estes novos sistemas são projetados com o objetivo de reduzir a emissão de calor nas áreas internas, resultando em menor carga de refrigeração, por exemplo. Em comparação com a lâmpada incandescente, a lâmpada de indução magnética é cerca de quatro vezes mais eficiente e sua durabilidade é, no mínimo, 20 vezes maior.
- **Motor elétrico de alto rendimento:** a partir de 2010, todos os motores fabricados, ou comercializados no País passaram a ser de “alto rendimento”. Estima-se que essa medida resultará em uma economia de energia equivalente à produzida por uma hidrelétrica de cerca de 380 MW (BRASIL, 2007 *apud* CNI/PROCEL/ELETROBRÁS, 2010). Ainda há uma aplicação tímida destes motores no segmento de alimentos e bebidas. Com esta nova regulamentação, esse cenário mudará, pois dentre alguns anos todos os motores serão de alto rendimento e conseqüentemente isto fará com que se aumente a economia de energia elétrica em todo território nacional.
- **Acionadores de velocidade ajustável (AVAs):** são conversores de frequência que, ao serem utilizados em motores que acionam cargas centrífugas (como bombas ou ventiladores centrífugos), com fluxo variável, podem proporcionar uma economia de energia entre 15% e 50% (BRASIL, 2007 *apud* CNI/PROCEL/ELETROBRÁS, 2010). A utilização dessa tecnologia requer atenção, em virtude de alguns problemas que podem ocorrer, como a geração de harmônicas na rede e o sobreaquecimento do motor, por exemplo. Estas tecnologias têm grande aplicabilidade no segmento de alimentos e bebidas, pois neste são utilizadas diversas cargas centrífugas. Foi detectado, durante esta pesquisa, que há diversas oportunidades de aplicação destes acionadores, pois em muitos casos se utilizam ainda métodos convencionais de partida (como a partida direta), onde poderiam ser utilizados os AVAs, podendo assim proporcionar a racionalização do uso da energia elétrica.

- **Equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado:** na indústria de transformação, como a de alimentos e bebidas, diversas instalações de alta tecnologia, utilizam uma quantidade significativa de energia para colocar em funcionamento os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC - *heating, ventilation, and air-conditioning equipment*). Em alguns casos, as cargas de HVAC chegam a responder por 40% a 50% da energia total consumida por uma planta industrial. E mais, como exemplo, a tecnologia desenvolvida pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory*, dos EUA, denominada *Laboratory Fume Hoods*, baseada na utilização de pequenos sistemas de HVAC, permite economizar até 75% de energia, quando comparada com os sistemas tradicionais. As instalações industriais do segmento de alimentos e bebidas necessitam acompanhar a evolução tecnológica destes equipamentos, pois estes têm forte presença em seus processos e, como visto, os HVAC podem representar cerca da metade da energia total consumida. Logo, conclui-se que aqui há um importante nicho para ações de eficiência energética.

Logo, observa-se o esforço no desenvolvimento de novas tecnologias voltadas, nestes casos, para os processos industriais, com o objetivo de racionalizar o uso da energia. Constantemente são lançados novos produtos ou processos com vistas à racionalização dos insumos de produção, ou seja, mais eficientes, e cada vez mais as empresas vêm buscando estas novas soluções, com o intuito de reduzir seus custos operacionais, assim como atrelar suas marcas à imagem de empresa sustentável, com responsabilidade socioambiental.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao fim desta dissertação constatou-se que, mesmo na atualidade, onde a maioria das empresas apresenta equipes que realizam a gestão dos gastos e do uso da energia, especialmente a energia elétrica, foco desta pesquisa, em praticamente todos os casos analisados existem, ainda que em pequenas dimensões, oportunidades para a racionalização dos insumos energéticos.

As análises dos enquadramentos tarifários das instalações industriais que participaram deste estudo mostraram que todas as unidades apresentam-se com o melhor enquadramento tarifário para cada perfil, porém ainda há, em alguns casos, a possibilidade de redução da demanda contratada. Contudo, no geral esta redução é pequena, diante do montante contratado para cada instalação, e o retorno financeiro é muito baixo perto do total pago pelas empresas. Apenas para a instalação industrial E foi recomendada a alteração no valor de demanda contratada, pois esta unidade apresentou ganho significativo e potencial para a redução da demanda. Esta análise já considerou a alteração da legislação publicada pela ANEEL, onde a partir de março de 2011 a resolução 456 (a qual estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica) será substituída pela resolução 414, sendo que esta última apresenta alterações que irão impactar de maneira significativa nos contratos de fornecimento de energia, como a redução do limite de ultrapassagem que antes era de 10% para 5% e a contratação de demanda passa a ser, com algumas exceções, única, ou seja, não se terá mais demanda contratada no período seco e no período úmido.

Além da análise do enquadramento tarifário, foi realizado nas instalações industriais diagnósticos energéticos, para poder identificar e quantificar o uso da energia elétrica por cada unidade, identificando alguns indicadores deste uso, como o fator de carga das instalações, o consumo específico, o preço médio de energia, assim como, através das medições realizadas em campo, verificar o índice de carregamento dos principais motores elétricos ou circuitos elétricos de cada instalação industrial. Para este último item, a utilização do Guia Nacional de Medição e Verificação (M&V) foi fundamental, no intuito de se padronizar as medições e análises realizadas.

A análise dos fatores de carga mostrou que, com exceção da instalação industrial D, as demais instalações apresentaram baixo fator de carga e, conseqüentemente, demonstram haver oportunidades para o uso racional da energia elétrica. Este fator é um índice que varia entre 0 e 1, sendo que quanto mais perto do valor 1, indica-se que as cargas foram utilizadas de maneira racional ao longo do tempo. Espera-se fomentar, com essa análise, as instalações industriais para que elas possam avaliar possibilidades de aumento dos seus respectivos fatores de carga.

No caso do consumo específico, novamente destacou-se a instalação industrial D, a qual apresentou o menor valor para este indicador, demonstrando utilizar de maneira mais eficiente a energia elétrica, dentre as instalações industriais analisadas. A instalação industrial E apresentou o maior valor de consumo específico (em kWh/t). Destaca-se que, para esta unidade, foram calculados dois indicadores de consumo específico, pois cada produto apresenta uma unidade de medida diferente. Acredita-se que a possível causa de esta instalação industrial apresentar o maior valor de consumo específico, é o fato de a empresa estar passando por um processo de reestruturação, e suas linhas de produção estarem sendo remanejadas para outra unidade fabril.

Através das medições realizadas nas instalações industriais, constatou-se que, em grande parte dos casos, existe a possibilidade de redução da potência instalada dos equipamentos (como os motores elétricos dos compressores de ar comprimido, das caldeiras, compressores de frio, dentre outros) ou do conjunto de motores que compõem as linhas de produção analisadas (como as linhas do Produto A e B). Novamente, a instalação industrial E apresentou grande potencial de redução da potência instalada, por estar passando por um momento de reorganização, como já comentado ao longo desta dissertação. Ao final das análises, constatou-se que o potencial de redução equivale a 518 CV (ou 381,3 kW), valor significativo se considerarmos que a análise se deu em uma pequena amostra do segmento industrial de alimentos e bebidas. Obviamente que cada instalação industrial deve avaliar com mais profundidade as ações a serem tomadas, pois cada uma tem seu planejamento e sabem se irão necessitar de mais estrutura para, por exemplo, um possível aumento do nível de produção.

Portanto, entende-se que, de uma maneira geral, há um campo vasto para a introdução de ações visando à eficiência energética nos processos e equipamentos, com o intuito de racionalizar o uso da energia elétrica, reduzindo-se assim os desperdícios, sem que se comprometa o nível de

produção e/ou a qualidade dos produtos finais das empresas. Através das visitas às instalações industriais, foi constatado que, atualmente, as mesmas ainda não apresentam grande inserção de tecnologias mais eficientes. Isso porque, por exemplo, a maioria dos motores elétricos presentes nas instalações não são de alto rendimento; em nenhuma instalação foi identificado o uso da tecnologia LED para os sistemas de iluminação, assim como, em alguns casos, o próprio planejamento de manutenção dos equipamentos é precário, o que prejudica o rendimento dos mesmos.

Por fim, citam-se algumas tecnologias atualmente disponíveis no mercado, tecnologias estas mais eficientes do ponto de vista de consumo de energia elétrica. O desenvolvimento de novas tecnologias é fundamental para que se atinjam de fato níveis cada vez mais elevados de eficiência energética em equipamentos e processos, permitindo assim um melhor uso dos insumos energéticos, assim como reduzindo, ou ao menos postergando, os impactos socioambientais, pois atualmente a sociedade exige, principalmente das grandes corporações, uma postura sustentável e, para as empresas, há ainda o benefício da redução dos custos operacionais e aumento da competitividade.

Sugerem-se ao final desta dissertação que, para avançar os estudos iniciados, possam ser avaliados aspectos relacionados à influência da qualidade da energia elétrica (fenômenos como harmônicas, desequilíbrio de tensão, dentre outros) no consumo e na eficiência energética destas instalações industriais; análise de outros energéticos nas instalações industriais (como óleo combustível, gás, lenha, etc.), assim como a análise da eficiência térmica de equipamentos como as caldeiras, por exemplo; realização da prospecção de tecnologias e processos, específicos para as instalações industriais analisadas, mais eficientes energeticamente; realizar análise dos potenciais econômicos e de mercado para a realização de ações de eficiência energética e por fim, relacionar o potencial de emissões de gases do efeito estufa evitado devido ações de eficiência energética, visando à racionalização dos insumos energéticos.

## Referências

ABESCO. **Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia**. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/siterobot/>. Acesso em: Julho de 2010.

BAJAY, S. V. (Coordenador). Caracterização Técnica e Energética dos Setores Industriais, relatório técnico do projeto versando sobre “**Análise e desenvolvimento de metodologia visando a implementação de projetos de eficiência energética na indústria**”, financiado pela Confederação Nacional da Indústria, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

BEN. **Balanco Energético Nacional**. Empresa de Pesquisa Energética, ano base 2008. Rio de Janeiro, 2009, 274 p.

BUENO, Leda Gobbo de Freitas. **Diagnóstico do uso de energia elétrica de um frigorífico de frangos de corte enfatizando medidas de eficiência energética**. 2008. 156p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manuais de Produção Mais Limpa (P+L) – Produtos Lácteos e Frigoríficos, 2008**. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao\\_limpa/documentos.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos.asp). Acesso: Outubro de 2010.

CNI/ELETRORÁS. **Eficiência Energética na Indústria. O que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional**. Brasília, 2009. Disponível em: [http://www.cni.org.br/portal/data/pages/FF80808127357038012735CE\\_928C067D.htm](http://www.cni.org.br/portal/data/pages/FF80808127357038012735CE_928C067D.htm). Acesso: Setembro de 2009.

CNI/PROCEL/ELETRORÁS. **Novas Tecnologias para Processos Industriais: Eficiência Energética na Indústria**. Brasília, 2010, 40p. (Relatório 37). Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98}&Team=&params=itemID={55FDD8AF-5AF7-4374-A275-729A06ABD030};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>. Acesso: Janeiro de 2010

CONPET. **Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural**. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/w3/>. Acesso: Março de 2010.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – ano base 2005 – Classe Industrial.** Rio de Janeiro, 2008 a.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – ano base 2005. Relatório Setorial: Produtos Alimentícios e Bebidas.** Rio de Janeiro, 2008 b.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Guia operacional de motores elétricos: versão 2000, 161p.** Rio de Janeiro, 2000.

EMBRASUL. Manual eletrônico RE 6000.

Disponível em: <http://www.embrasul.com.br/manuais/re6000.html>. Acesso: Novembro de 2010.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica.** Ano III, nº 28, Rio de Janeiro, 2010.

EVO. ***Efficiency Valuation Organization. Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético.*** Conceitos e Opiniões para a Determinação da Poupança de Energia e Água, vol. 1. 2007. Disponível em:

[http://www.evo-world.org/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=998&Itemid=79](http://www.evo-world.org/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=998&Itemid=79).

Acesso: Março de 2010.

GORLA, Filipe Debonzi. **Potencial técnico de conservação de energia na indústria brasileira.** 2009. 129p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HADDAD, J; YAMACHITA, R.A; GUARDIA, E.C; CRUZ, P.T.A; PORTO, L.C.F; LEONELLI, P.A. **Otimização Energética num Mercado Municipal: Processo de M&V e Resultados Alcançados.** XVIII SENDI – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 06 a 10 de Outubro, Olinda – PE, 2008.

INEE. **Instituto Nacional de Eficiência Energética.** A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Energético. Rio de Janeiro, 2001.

JANNUZZI, G. M; DANELLA, M. A; SILVA, S. A. S. **Metodologia para avaliação da aplicação dos recursos dos programas de eficiência energética.** Campinas, SP. *Energy Discussion Paper*, 2004, 10p.



LANDIS GYR. Disponível em:

<http://www.landisgyr.com.br/default.asp?opcao=29&subopcao=97>. Acesso: Novembro de 2010.

MARQUES, M. C. S. *et al.* **Conservação de Energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá, MG: FUPAI, 2006. 596p.

MARQUES, M. C. S; HADDAD, J; GUARDIA, E C. **Eficiência Energética: Teoria e Prática**. Autores Coordenadores. Itajubá-MG, 1ª Edição, FUPAI, 2007.

MONTEIRO, M. A. G.; ROCHA, L. R. R.; **Gestão Energética**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Energia 2030**, Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2007. 12 v.

Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_11.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf). Acesso: Fevereiro de 2010.

PROCEL, **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Disponível em:

<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?ViewID={974CF275-82FE-4483-8551-855F9A98A370}>. Acesso: Julho de 2010.

PROCEL INFO. **Guia de Medição e Verificação (on line)**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2007. Disponível em: [http://www.eletrobras.com/pci/Procel\\_GuiaMV/Index.asp](http://www.eletrobras.com/pci/Procel_GuiaMV/Index.asp). Acesso: Março de 2010.

ROSSI, L. A.; SILVA, R. P. B.; BARROS, R. S.; BUENO, L. G. F. **Eficiência Elétrica: Estudo de caso dos motores elétricos da sala de máquinas de um frigorífico no estado de São Paulo**. In: IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola e XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2010, Vitória - ES. Anais do IX Congresso Latinoamericano Y Del Caribe de Ingeniería Agrícola e XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Vitória-ES, 2010. v. 1. p. 1-6.

YOSHINO, Rui Tadashi. **Barreiras ao Uso Racional de Energia em Micro, Pequenas e Médias Empresas**. 2003. 128p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

## **ANEXO A – Especificações técnicas dos analisadores de energia utilizados para as medições**

### **SAGA 4000**

Este é um analisador portátil de grandezas elétricas e foi instalado em pontos específicos de cada indústria, conforme será mostrado ao longo do trabalho. Estes aparelhos permitem medir os valores de corrente elétrica sem ter que interromper o circuito, pois possuem sensores tipo alicate. Os alicates possuem capacidade nominal de 1.000 A, saída em tensão (1V-AC). O conjunto medidor e alicates possuem exatidão de 1%. O intervalo de medição foi parametrizado para 900s (ou 15min), de acordo com o intervalo de medição da demanda pelas concessionárias de energia elétrica. Além disso, são capazes de monitorar diversas grandezas elétricas, como as potências ativas, reativas e aparentes (por fase e trifásica), tensões, fator de potência, energia, dentre outras. Outra vantagem é que os arquivos de leitura podem ser facilmente convertidos em planilhas do tipo Excel®, o que facilita a plotagem de gráficos e o manuseio dos dados coletados.

A Figura A1 ilustra o equipamento SAGA 4000.



**Figura A.1: ESB – SAGA 4000**

Fonte: Landis+Gyr, 2010

## SAGA 4500

Consiste em um analisador e registrador eletrônico de sistemas elétricos monofásicos ou trifásicos, equilibrados ou não, para uso portátil em redes de distribuição, para instalação em cabines primárias ou em circuitos diversos de baixa tensão. Foram utilizados ao longo da pesquisa 3 equipamentos SAGA 4500, instalados em pontos específicos nas diferentes indústrias, conforme será mostrado no decorrer do trabalho. A diferença principal é que um destes equipamentos possui alicate amperímetro com capacidade para 2.000 A. A exatidão do conjunto (analisador + sensores) é de 1 a 2%. O intervalo de medição foi parametrizado para 900s (ou 15min), de acordo com o intervalo de medição da demanda pelas concessionárias de energia elétrica. A Figura A2 apresenta este equipamento.



**Figura A.2: ESB – SAGA 4500**

Fonte: Landis+Gyr, 2010

Analisador de Grandeza SAGA 4500 – Ficha Técnica

Aplicação: Analisador de grandezas elétricas.

Característica: Analisador e registrador eletrônico de sistemas elétricos monofásicos ou trifásicos, equilibrados ou não, para uso portátil em redes de distribuição, para instalação em cabines primárias ou em circuitos diversos de baixa tensão.

## Descrição:

Fornece os valores de potência e energia nos quatro quadrantes (bidirecional);

Fornece os valores primários de grandezas;

Grandeza elétrica exibida no display;

Grandezas obtidas com software;

Analizador eletrônico do tipo auto-range, possui 2 escalas para tensão e 5 para corrente;

Disponível com classe de exatidão de 0,5%

Exatidão do conjunto (analizador + sensores) de 1% ou de 2%;

Registrador programável com memória de massa de 1MB;

Gabinete em policarbonato;

Display de LCD de 64 caracteres alfanuméricos, em quatro linhas, com Black Light, permitindo leitura de forma clara e precisa.

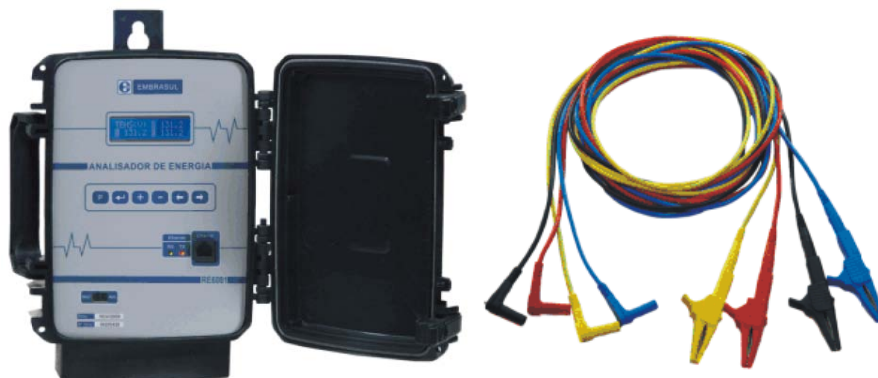
## RE 6081

O RE 6081 também consiste em um analisador portátil de grandezas elétricas e foi utilizado em diferentes pontos das indústrias, conforme será mostrado ao longo do trabalho. Pode ser aplicado em diferentes sistemas elétricos e nas mais diferentes possibilidades de ligação. O intervalo entre os registros foi o mesmo utilizado nos SAGAs (15 minutos ou 900 segundos). Possui software para análise dos dados (*ANL 6000*), assim como também permite exportar os dados armazenados para planilhas em Excel®.

Alguns parâmetros coletados pelo equipamento:

- Tensão e corrente, frequência e fator de potência
- Potência: ativa, reativa e aparente
- Energia: ativa, reativa capacitiva e indutiva
- Harmônicas: distorção harmônica total DHT até a 51º ordem

A Figura A.3 ilustra o analisador RE 6081 e os sensores de corrente.



**Figura A.3: Analisador RE 6081 e cabos de tensão.**

Fonte: EMBRASUL, 2010.

## **RE 6000**

Analisador portátil de grandezas elétricas, o RE6000 utilizado na pesquisa possui os três módulos: Básico (B), Harmônicas (H) e Neutro (N). O módulo básico consiste no registro das grandezas elétricas como tensão, corrente, energias, fator de potência, demanda e ainda permite simular a correção do fator de potência (FP) em instalações que apresentem excedente reativo. O módulo Harmônicas permite a medição e registro de harmônicas de tensão e corrente até a 50ª ordem. A medição é feita em janela de 128 ms, em cada um dos canais de aquisição. Os registros podem ser facilmente manipulados, identificando o momento da ocorrência, ordem, amplitude e forma de onda de cada uma das fases de tensão e corrente do sistema em análise. Por fim, o módulo Neutro permite que se analisem sistemas desequilibrados. Este módulo possibilita a leitura de corrente e tensão (Neutro-Terra) do condutor neutro. A Figura A.4 ilustra o RE6000.



**Figura A.4: Analisador RE 6000**

Fonte: EMBRASUL (2010).

## ANALISADOR DE ENERGIA – EMBRASUL – RE 6000 (FICHA TÉCNICA)

### Aplicação

Medição e registro de grandezas, harmônicas e perturbações.

### Características Técnicas

- Display gráfico: LCD com fundo iluminado ( backlight ); dimensões 70 X 70 mm; Dot size 0,5mm; resolução 128 X 128 pixels;
- Base de tempo: Cristal de quartzo com relógio calendário em tempo real;
- Temporização: Timer para medição diária ou em horário pré-definido;
- Frequência de operação: 50 / 60 Hz automaticamente
- Conversores internos: 6 conversores A/D independentes de 16 bits;
- Tecnologia de hardware: SMD em todas as placas internas;
- Sistema de filtros: Filtros digitais exclusivos para todas as entradas de sinal;
- Memória para armazenamento de dados: módulos de 8MB ou 16MB;
- Partição de memória de massa com possibilidade de armazenamento de até 15 arquivos independentes ou limite da memória;
- Velocidade de comunicação: até 115.200 bps; • Tecnologia de processamento: Sistema DSP;
- Números de amostras: Processamento de 128 amostras / ciclo;
- Módulos: medição de todos os módulos ( B, H, N e T ) simultaneamente;
- Fator de potência: Medição de Fator de Potência ou Fator de Deslocamento;
- Módulo de Harmônicas: Medição até a 50ª ordem individual ou trifásica;
- Módulo de Neutro: Entrada adicional para medição de tensão e corrente de neutro;
- Dimensões: 281 X 291,7 X 73. Peso: 1,9 Kg.
- Temperatura de Operação: 0 a 60° C. • Temperatura de Armazenamento: -20 a 70° C.
- Umidade relativa: 0% a 95%, sem condensação.

- Categoria de Instalação II, Grau de poluição 2 • Grau de Proteção: Classe III - 600V
- Entradas de Medição: Categoria de instalação III, Grau de poluição
- Teclado : Força de contato:  $160 \pm 30$ g; Vida útil: 50.000 ciclos no mínimo.
- Máxima frequência identificada: 3 KHz. • Precisão: 0,2% da leitura.
- Alimentação: Automática pelo sinal de medição ou Alimentação Auxiliar: Tensão CA: 80 a 300Vca.

**Nota:** Todas as características levam o RE6000 a estar perfeitamente de acordo com todas as resoluções impostas pela resolução 505 da ANEEL e demais resoluções.

Acessórios que compõem o Analisador RE6000/B:

- Uma maleta para o acondicionamento e transporte do conjunto completo (ref.: MP-6010);
- Um cabo de alimentação ( ref.:300401); • Um cabo de comunicação ( ref.: 300538 );
- Um conjunto trifásico de cabos de tensão (composto por quatro cabos);
- Software ANL6000; • Um manual de instalação e operação.

Maiores informações acessar:

<http://www.landisgyr.com.br/>

<http://www.embrasul.com.br/>

OBS: No site dos fabricantes dos equipamentos não constam a ficha técnica dos modelos SAGA 4000 e Embrasul RE6081.