



UNIVERSIDADE SALVADOR - UNIFACS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM REGULAÇÃO DA
INDÚSTRIA DA ENERGIA
MESTRADO EM REGULAÇÃO DA INDÚSTRIA DA ENERGIA

LUIZ GUSTAVO DE VARGAS VIANNA

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL: APLICAÇÃO DE
INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA FOMENTAR A
EFICIENTIZAÇÃO DO USO DA ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA

Salvador
2010

LUIZ GUSTAVO DE VARGAS VIANNA

**CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL: APLICAÇÃO DE
INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA FOMENTAR A
EFICIENTIZAÇÃO DO USO DA ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador – UNIFACS, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Freire da Silva.

Salvador
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Vianna, Luiz Gustavo de Vargas

Conservação de energia no Brasil: aplicação de inversores de frequência para fomentar a efficientização do uso da energia elétrica na indústria. / Luiz Gustavo de Vargas Vianna. – Salvador : UNIFACS, 2010.

106f. il.

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador – UNIFACS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Freire da Silva.

1. Eficiência energética. 2. Conservação de energia. I. da Silva, Kleber Freire, orient. II. Título.

CDD: 621.3

LUIZ GUSTAVO DE VARGAS VIANNA

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL: APLICAÇÃO DE INVERSORES DE
FREQUÊNCIA PARA FOMENTAR A EFICIENTIZAÇÃO DO USO DA ENERGIA
ELÉTRICA NA INDÚSTRIA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador (UNIFACS), pela seguinte banca examinadora:

Kleber Freire da Silva – Orientador _____
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Salvador (UNIFACS)

Luiz Antonio Magalhães Pontes _____
Doutor em Engenharia Química, Universidade de Campinas (UNICAMP)
Universidade Salvador (UNIFACS)

Agenor Gomes Pinto Garcia _____
Doutor em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro
(COPPE/UFRJ)

Salvador, 15 de agosto de 2010.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, filhos e amigos que
apoiaram-me em todos os
momentos deste grande desafio.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão da conservação de energia no Brasil, com foco na eficiência elétrica da indústria, discutindo a viabilidade de projetos industriais para unidades novas e existentes, onde o emprego de inversores de frequência pode trazer ganhos substanciais de economia de energia (*energy savings*). Muitos destes acionadores industriais centrífugos estão baseados em sistemas energéticas providos por fontes térmicas, como a utilização do vapor. Apresentamos aqui uma visão crítica desta prática e propomos avaliar a substituição dos mesmos por motores elétricos acionados por inversores de frequência, mostrando os ganhos inerentes a estas aplicações. Para tal, esse trabalho está organizado em 04 capítulos, além da Introdução e Conclusão. Faz-se uma revisão bibliográfica sobre o histórico da energia elétrica no Brasil na Introdução e o mesmo no capítulo 2, a respeito do Procel; desde sua criação em 1985, foi realizada uma avaliação dos diversos ganhos do programa como, por exemplo, os gastos de energia evitados com soluções de eficiência, ressaltando as suas áreas de atuação e respectivos programas. No capítulo 3, apresenta-se uma visão sobre o arcabouço jurídico e o sistema elétrico nacional que dão base legal as ações na área de comercialização de energia elétrica. No capítulo 4 apresentamos exemplos de como podemos inserir a eficiência energética na indústria, através de projetos dos tipos *Green* e *Brown Field*, pois no setor industrial está o maior consumo de energia elétrica no país e por consequência, o maior potencial de eficiência elétrica. No capítulo 5 faz-se uma discussão das dificuldades de ampliação do programa de eficiência brasileiro, com as interferências ocasionadas pela presença de diversos órgãos responsáveis pela organização do setor elétrico nacional. Observa-se que existem conflitos entre os interesses das visões de planejamento e de regulação sobre a forma de condução das políticas voltadas para a eficiência energética no Brasil. A conclusão apresenta uma síntese do que foi feito até o momento e sugestões do que poderia ser feito para consolidar e fomentar a eficiência energética na indústria nacional.

Palavras-chave: Conservação Energia. Eficiência Energética. Inversores de Frequência.

ABSTRACT

This paper presents a vision of energy conservation in Brazil, with focus on the efficiency of the electric industry, discussing the viability of industrial projects for new and existing facilities, where the use of frequency drives can bring a substantial gain in energy savings. Many of these industrial drives are based on energy provided by thermal sources, such as the use of steam. Here we present a critical view of this practice to evaluate and propose the replace of these for electric motors powered by variable frequency drives, showing the gains inherent in these applications. This work is organized in 4 chapters, in addition to the Introduction and Conclusion. A bibliographic review on the history of electricity in Brazil in the introduction and the same in chapter 2 regarding the Procel; since its creation in 1985 by 2010, an assessment was made of several program gains as, for example, avoided spending for the expansion of supply in electricity, noting their areas of expertise and their programs. Chapter 3 presents an insight into the legal framework and the national electrical system which provide the legal basis of commercialization of electric power. Chapter 4 presents some examples of how we can insert energy efficiency in industry, through projects of Green and Brown Field types, because in this industry we have the highest consumption of electric power in the country and by consequence, the greatest potential for electrical efficiency. Chapter 5 was made a discussion about the expansion difficulties of the program's efficientization, with the interference caused by the presence of various bodies responsible for organizing the Brazilian electricity sector. Noted that there are conflicts between the interests of the visions planning matters and how to conduct policies focused on energy efficiency in Brazil. The conclusion provides a summary of what was seen at the moment and presents suggestions of what could be done to consolidate the energy efficiency in the industry.

Key-words: Energy Conservation. Energy Efficiency. Frequency Converter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etiqueta INMETRO	32
Figura 2 - Selo PROCEL de Eficiência.....	33
Figura 3 - Organograma EPE.....	41
Figura 4 – Sistema de controle com válvula de controle	58
Figura 5 – Sistema de controle com inversor de frequência	60
Figura 7 – Esquemático da Excitatriz <i>Brushless</i>	64
Figura 8 – Turbo-multiplicador.....	69
Figura 9 – Representação Esquemática do Variador Hidráulico.....	70
Figura 10 – Distribuição da Potência.....	70
Figura 11 – Cálculo Vetorial nas Engrenagens	71
Figura 12 – Esquemático da Solução 1.....	80
Figura 13 – Esquemático da Solução 2.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil - por classe de consumidor – 2008 ...	25
Gráfico 2 – Consumo de energia elétrica por setor em 15 anos – 1995 - 2009	26
Gráfico 3 – Crescimento Consumo Energia Elétrica em 15 anos – 1995-2009	42
Gráfico 4 – Redução do Conjugado x Harmônicos de Tensão	66
Gráfico 5 – Comparativo entre Métodos de Partida	68
Gráfico 6 – Curva de Rendimento do HVSD	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 – Estimativa do Título em função da potência desenvolvida pela turbina	75
Tabela 3 – Consumos de Energia	84
Tabela 4 – Requisitos Operacionais para o Motor Elétrico	85
Tabela 5 – Requisitos e Características do Motor Elétrico	86
Tabela 6 – Requisitos Operacionais para o Inversor de Freqüência.....	88
Tabela 7 – Requisitos e Características do Inversor de Freqüência	89
Tabela 8 – Avaliação da Soluções propostas.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMFORP	<i>American and Foreign Power Company</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
C	Comercialização de Energia Elétrica
CA	Conforto Ambiental
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEF	Caixa Econômica Federal
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CFC	Clorofluorcarbono
CGE	Câmara de Gestão da Crise de Energia
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiências Energéticas
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CHEVAP	Companhia Hidrelétrica do Vale do Rio Paraíba
CME	Conselho Mundial de Energia
CND	Conselho Nacional de Desestatização
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNPE	Conselho Nacional Política Energética
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
Conpet	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
D	Distribuição de Energia Elétrica
E	Exportação de Energia Elétrica
EEE	Eficiência Energética das Edificações
ELETOBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ELETRONUCLEAR	Eletobrás Termonuclear S.A.
EPE	Empresa Pesquisas Energéticas
EPP	Energética nos Prédios Públicos
ESCOs	<i>Energy Saving Company</i> - Empresa de Conservação de Energia
FC	Controlador de Fluxo
FEE	Fundo de Eficiência Energética
FINAME	Financiamento de máquinas e equipamentos
FIP-IE	Fundo de Investimento em Participações em Infra-Estrutura
FT	Transmissor de Fluxo
Fupai	Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria
Furnas	Furnas Centrais Elétricas S.A.
G	Geração de Energia de Energia Elétrica
GCPS	Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos
GEE	Gás Efeito Estufa
GEM	Gestão Energética Municipal
HVSD	<i>Hydraulic Variable Speed Drive</i>
I	Importação de Energia Elétrica
IAPWS	<i>The International Association for the Properties of Water and Steam</i>

IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
M&Vs	Medição e Verificação
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MCSD	Mecanismos de Compensação de Sobras e Déicits
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDL	Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	<i>Megawatt</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEB	Plano Energia Brasil
PEE	Programa de Eficiência Energética
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
PND	Plano Nacional de Desestatização
PNMC	Plano Nacional de Mudanças Climáticas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
REINFA	Regime Especial de Tributação para o Incentivo ao Desenvolvimento e à Produção de Fontes Alternativas de Energia Elétrica
Reluz	Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes
RGR	Reserva Global de Reversão
ROL	Receitas Operacionais Líquidas
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
T	Transmissão de Energia Elétrica
THD	Distorção Harmônica Total
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
USAID	<i>United States Agency for International Development</i>
VSD	<i>Variable Speed Drives</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 HISTÓRICO DA ELETRICIDADE NO BRASIL	16
CAPÍTULO 2 PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	24
2.1 PROCEL.....	24
2.2 ÁREAS DE ATIVIDADES	26
2.2.1 Comércio	26
2.2.2 Saneamento	27
2.2.3 Indústria	27
2.2.4 Edificações	28
2.2.5 Prédios Públicos	28
2.2.6 Gestão Energética Municipal	28
2.2.7 Iluminação Pública	29
2.2.8 Capacitação Técnica	29
2.3 PROGRAMAS DO PROCEL	29
2.3.1 PROCEL Edifica	29
2.3.2 PROCEL Educação	30
2.3.3 PROCEL EPP	30
2.3.4 PROCEL GEM	30
2.3.5 PROCEL Indústria	30
2.3.6 PROCEL Info	31
2.3.7 PROCEL Marketing	31
2.3.8 PROCEL Reluz	31
2.3.9 PROCEL Sanear	31
2.3.10 Selo PROCEL	31
2.3.11 Prêmio PROCEL	33
2.4 RESULTADOS DO PROGRAMA.....	35
2.5 EXPECTATIVAS DO PROGRAMA.....	35
2.6 DEFICIÊNCIAS DO PROGRAMA	36
2.7 OUTROS PROGRAMAS.....	37
2.7.1 CONPET	37
2.7.2 ESCO	38
2.7.3 Green Buildings	38
2.7.4 Leilões de Eficiência Energética	39
2.7.5 Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	40

CAPÍTULO 3 ARCABOUÇO JURÍDICO E O SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL	43
3.1 LEIS DO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL	43
3.1.1 Conservação de energia	44
3.1.2 Projeto de Lei 630/03	45
3.1.3 PLS - Projeto de Lei do Senado Nº 311/09, REINFA	46
3.1.4 Plano Energia Brasil – Eficiência Energética	47
3.2 NOVO MODELO DO SISTEMA ELÉTRICO	49
3.3 INCENTIVOS A EFICIENCIA ENERGÉTICA	50
3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA – LINHAS DE FINANCIAMENTO	51
3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA	53
CAPÍTULO 4 PROJETOS DE SISTEMAS MOTRIZES INDUSTRIAIS	55
4.1 TIPOS DE PROJETOS INDUSTRIAIS	55
4.1.1 Projetos Green Field	56
4.1.2 Projetos Brown Field	60
4.1.3 Fundamentação Teórica do Estudo Energético	61
4.1.4 Motor Elétrico Síncrono	62
4.1.5 Inversor de Freqüência	64
4.1.6 Soft-starter	68
4.1.7 Turbo-multiplicador	69
4.1.8 Hydraulic Variable Speed Drive (HVSD)	70
4.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ATUAL	71
4.2.1 Processo de Desparafinação e Desoleificação	71
4.2.2 Acionamento do Compressor	72
4.2.3 Análise de potência	72
4.2.3.1 Potência do vapor	72
4.2.3.2 Sistema Elétrico	77
4.2.3.3 Problemas de Operação com sistema atual	77
4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO	77
4.3.1 Implantação de motor síncrono com inversor de freqüência	80
4.3.2 Implantação de motor síncrono e HVSD	81
4.3.3 Eficiência das Soluções	82
4.3.3.1 Solução 1 – Inversor de Freqüência	83
4.3.3.2 Solução 2 - HVSD	83
4.3.3.3 Comparativo das Soluções	84
4.4 BASES DE PROJETO	85

4.4.1 Motor Elétrico	85
4.4.1.1 Requisitos Operacionais.....	85
4.4.1.2 Requisitos Funcionais	86
4.4.1.3 Requisitos e Características do Equipamento.....	86
4.4.2 Inversor de Frequência	88
4.4.2.1 Requisitos Operacionais.....	88
4.4.2.2 Requisitos Funcionais	89
4.4.2.3 Requisitos e Características do Equipamento.....	89
4.5 OUTROS GANHOS DAS SOLUÇÕES	91
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
CAPÍTULO 5 – VIABILIDADE DA EFICIENTIZAÇÃO ELÉTRICA NA INDÚSTRIA	94
5.1 ABORDAGEM DA SOCIEDADE	94
5.2 FORTALECIMENTO DAS ESCOs	95
5.3 APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA NA INDÚSTRIA.....	99
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	101
REFERÊNCIAS	104

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O aumento crescente nos valores dos insumos básicos na indústria, tais como energia elétrica, água e gás combustível, entre outros, vem despertando um interesse cada vez maior pelo controle do uso desses elementos. Especialmente o consumo de energia elétrica com sua contribuição para o aumento das emissões do Gás Efeito Estufa (GEE).

Eficiência Energética virou tema importante após a década de 70, depois que o preço do petróleo disparou no mercado internacional, sendo que a partir desse choque o mundo passou a prestar mais atenção nos processos e nos equipamentos e descobriu que havia maneiras de reduzir as perdas e melhorar a eficiência da energia elétrica, principalmente através da melhora no rendimento de máquinas e equipamentos.

No Brasil, as ações voltadas à conservação de energia iniciaram-se em 1981, com o Programa Conserve¹. Atualmente já existem programas de governo implantados que atuam em diversas áreas de atividades. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) é o programa de governo mais importante até o momento. Foi criado em 1985, pelos Ministérios de Minas e Energia (MME) e Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma visão da conservação de energia no Brasil, focando a efficientização elétrica na indústria, discutindo a viabilidade de projetos industriais para unidades novas e existentes, onde o emprego de inversores de frequência pode trazer um ganho substancial em *energy savings*. Para tal, esse trabalho está organizado em quatro seções, além da Introdução e Conclusão. Faz-se uma revisão bibliográfica sobre o histórico da energia elétrica no Brasil na Introdução e o mesmo na seção 2, a respeito do Procel; desde sua criação em 1985 até 2010, é feita uma avaliação dos diversos ganhos do programa como, por exemplo, os gastos evitados para a ampliação do fornecimento em energia elétrica, ressaltando as suas áreas de atuação e respectivos programas. Na seção 3, apresenta-se uma visão sobre o arcabouço jurídico e o sistema elétrico nacional que dão base legal às ações na área de comercialização de energia elétrica. Na seção 4 apresentam-se exemplos de como podemos inserir a eficiência energética na

¹ Programa Conserve – criado pelo governo federal, tinha como objetivo estimular a conservação e substituição de óleo combustível consumido na indústria - criado em 1981.

indústria, através de projetos dos tipos *Green* e *Brown Field*, pois no setor industrial está o maior consumo de energia elétrica no país e por consequência, o maior potencial de efficientização elétrica. No capítulo 5 faz-se uma discussão das dificuldades de ampliação do programa, dado as interferências ocasionadas pela presença de diversos órgãos responsáveis pela organização do setor elétrico brasileiro. Observa-se que existem conflitos entre os interesses das visões de planejamento e de regulação sobre a forma de condução das políticas voltadas para a eficiência energética no Brasil. A Conclusão apresenta uma síntese do que foi visto no trabalho e apresenta sugestões do que poderia ser feito para consolidar a eficiência energética na indústria.

1.1 HISTÓRICO DA ELETRICIDADE NO BRASIL

A utilização da energia elétrica no país teve início com as instalações de usinas privadas em Minas Gerais, tais como:

- a) Usina Hidrelétrica de Ribeirão do Inferno, em 1883;
- b) Usina Hidrelétrica da Companhia Fiação e Tecidos São Silvestre, em 1885;
- c) Usina Hidrelétrica Ribeirão dos Macacos, em 1887;
- d) Usina Hidrelétrica Marmelos, em 1889.

Até a primeira década do século XX, foram construídos no país um grande número de pequenas usinas geradoras de energia elétrica, cuja produção tinha como objetivo atender a força motriz necessárias às unidades industriais, especialmente a indústria têxtil, os serviços públicos instalados nas cidades, (iluminação pública e privada) e transporte coletivo (bondes).

Os primeiros concessionários de serviços de eletricidade eram formados por grupos de pequenos produtores e distribuidores, organizados como empresas de abrangência municipal. Essas empresas municipais constituíram-se como resultado da iniciativa do empresariado nacional. A necessidade de atender à crescente demanda por iluminação e a impossibilidade de seu atendimento diretamente por parte da administração pública, levou à instituição do regime de concessões para a prestação dos serviços públicos. Conforme a Constituição de 1891, as concessões para prestação de serviços de eletricidade eram outorgadas pelas prefeituras

municipais, especialmente no segmento de distribuição, cabendo aos governos estaduais, o poder concedente com relação à utilização das forças dos rios.

Os primeiros contratos de concessão tinham prazos longos, de 80 e 90 anos, e ofereciam aos concessionários garantias financeiras por parte do Estado. Na década de 20 foi criado o primeiro órgão oficial relacionado à política setorial - a Comissão Federal de Forças Hidráulicas, do Ministério da Agricultura, que resultaria com a promulgação do Código das Águas², em 1934.

A partir de 1899, passou a funcionar em São Paulo, a empresa canadense que deu início à atuação do Grupo Light³. O capital nacional passou a conviver com os investimentos estrangeiros, cada vez mais presentes, o que determinou, na segunda metade da década de 1920, uma considerável monopolização e desnacionalização do setor. Nesta época, parte das empresas de capital nacional foi transferida para o controle das empresas estrangeiras. Este grupo incorporou várias empresas, constituídas no interior do estado de São Paulo. Na década seguinte, as atividades ligadas à energia elétrica estavam claramente dominadas por eles, concentrado no eixo Rio e São Paulo, e pela *American and Foreign Power Company* (Amforp)⁴, em diversas capitais. Situação que viria a perdurar até meados dos anos 1960. Neste momento, houve um aumento do número de usinas instaladas, num processo de crescimento constante, iniciado na virada do século, predominantemente de usinas construídas por grupos estrangeiros. A hidroeletricidade tornou-se predominante.

A sociedade assistiu ao fortalecimento de novos segmentos e a inovação dos costumes com o progresso tecnológico, como a substituição da iluminação a gás e da tração animal nos bondes. A energia elétrica instalou-se no Brasil como condição de transformação dos hábitos da população.

O Código das Águas representou a implantação de um novo modelo para os serviços de energia elétrica, através da regulamentação da indústria hidrelétrica, que substituiu os contratos da época. A União passou a ser o único poder concedente

² Código das águas - Legislação brasileira voltada aos recursos hídricos teve seu início com o Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Objetivo de dotar o país de uma legislação que permitisse ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas.

³ Grupo Light - Integrado pelas empresas Light S.A. (*holding*), Light Serviços de Eletricidade S.A (distribuidora), Light Esco Ltda. (comercializadora) e Light Energia S.A. (geração e transmissão), o Grupo está presente em 31 municípios do estado do Rio de Janeiro. Controlador inteiramente nacional - a Rio Minas Energia Participações S.A. (RME).

⁴ Amforp, organizada em 1923 pela *Electric Bond and Share* e atuante no Brasil a partir de 1927.

para os serviços de aproveitamento dos recursos hídricos. Com esta medida, foi possível a intervenção da União sobre os chamados recursos estratégicos, tornando possível a constituição do Estado, como empresário em áreas fundamentais para o projeto de industrialização. Neste período foram criadas várias companhias estaduais, como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN, 1941) e a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD, 1942).

No âmbito federal, destacou-se a iniciativa de autorização para a organização da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf), em 1945, com o objetivo de realizar o aproveitamento do potencial hidráulico da cachoeira de Paulo Afonso, e que viria a ser constituída em 1948.

O Plano nacional de eletrificação – 1946-1962, destacou neste período, os projetos de lei do Plano Nacional de Eletrificação e a criação da Centrais Elétricas Brasileiras S.A (Eletrobrás)⁵. Este Plano propunha uma grande reestruturação setorial, com um programa de expansão da geração de energia elétrica no país a partir da exploração de seu potencial hidráulico e a intervenção do Estado nas áreas de geração e transmissão.

A propriedade das novas instalações geradoras passou a concentrar-se em empresas controladas pelo governo federal e estadual, as quais ficaram responsáveis pelo suprimento às empresas atuantes no segmento de distribuição. No setor público federal, saiu do papel a criação de Furnas Centrais Elétricas S.A. (Furnas) em 1957, responsável pela construção da Usina Hidrelétrica de mesmo nome. Em 1960, também no âmbito federal, foi organizada a Companhia Hidrelétrica do Vale do Rio Paraíba (Chevap), com o objetivo de promover a construção da Usina Hidrelétrica Funil. Com relação a concessionárias privadas, verificou-se a expansão do parque gerador das empresas do Grupo Light. Ao final deste período, houve uma alteração substancial no perfil do setor de energia elétrica brasileiro, com o aumento da participação das empresas federais e estaduais na geração, enquanto diminuía a participação das concessionárias privadas.

No início da década de 1960 iniciou-se um ciclo econômico depressivo, devido às contradições do modelo de crescimento acelerado, implantado no período anterior, iniciando então o plano de desestatização – 1962-1998. O processo

⁵ A Eletrobrás é uma empresa de capital aberto, controlada pelo governo brasileiro, que atua nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

inflacionário crescente interrompeu as obras consideradas básicas pelo governo. Seguidos por uma paralisação dos investimentos privados, determinada em parte pelas condições da conjuntura econômica e pelo temor da desestabilização política (golpe militar 1964)⁶, que se anunciava. O acelerado processo de desenvolvimento econômico atingido entre 1968 e 1974 caracterizou o período denominado “milagre brasileiro”⁷, quando se registrou índices inéditos de crescimento da economia brasileira e grandes investimentos em obras de infra-estrutura. O processo de estatização do setor de energia elétrica brasileiro teve continuidade com a organização da Eletrobrás, em 1964. Ela passou a atuar como empresa *holding* das concessionárias públicas de energia elétrica do governo federal e no planejamento setorial, responsabilizando-se pela definição dos programas de expansão do sistema elétrico brasileiro. Dentre suas atribuições, foram incluídas estudos e projetos, construção e operação de usinas e de linhas de transmissão. A nacionalização do setor de energia elétrica foi acelerada com a aquisição, pelo governo federal, das empresas do Grupo *Amforp*. Este movimento de integração ao sistema da Eletrobrás das empresas estrangeiras, também passou a ser implementado em outros estados da federação. As ações de planejamento da expansão e os investimentos setoriais nas áreas de geração e transmissão foram implementados, desde 1964, pelo Ministério das Minas e Energia (MME) e do Ministério da Fazenda, e executados pela Eletrobrás, devido as suas funções de *holding* estatal e de coordenadora do programa de investimentos e da operação dos sistemas interligados. O segmento de distribuição, majoritariamente estatal, passou a ser controlado por empresas estaduais. O modelo setorial do sistema Eletrobrás garantiu a expansão expressiva dos segmentos de geração e transmissão de energia elétrica nas décadas de 60 e 70, e foi revertido na década de 80, principalmente pelas dificuldades de captação interna de recursos. Mais especificamente, durante a crise do petróleo.

Em 1973, o governo incentivou a substituição do uso de combustíveis fósseis pela eletricidade nas indústrias eletrointensivas, o que acarretou a necessidade de novos investimentos em expansão do setor elétrico e maiores custos de operação.

⁶ Golpe Militar 1964 - Período iniciado em abril de 1964, após um golpe militar articulado pelas Forças Armadas, em 31 de março do mesmo ano, contra o governo do presidente João Goulart, instituiu o regime militar no Brasil.

⁷ Milagre Brasileiro - Denominação dada à época de excepcional crescimento econômico ocorrido durante a ditadura militar, especialmente entre 1969 e 1973, no governo Médici.

A privatização do setor de energia elétrica brasileiro ocorreu em três governos, iniciou em 1992, com o Plano Nacional de Desestatização (PND) do governo de Fernando Collor de Mello (1990-1992), que definiu como prioridade a venda das empresas distribuidoras. Este processo continuou com o governo de Itamar Franco (1992-1994), que estabeleceu o novo regime tarifário das empresas de energia elétrica e conferiu ao Congresso Nacional poderes para autorizar a venda das empresas estatais, e por último, a criação do Conselho Nacional de Desestatização (CND), em 1995, no início da gestão de Fernando Henrique Cardoso. O processo das privatizações no setor de energia elétrica iniciou-se com a venda das concessionárias federais atuantes no segmento de distribuição. O novo formato institucional do setor de energia elétrica brasileiro foi estabelecido com a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), assumindo novas atribuições relativas a concessões, licitações e fiscalização dos serviços, a serem executados por empresas privadas.

No segmento de geração, a privatização das empresas sob controle do governo federal foi precedida pela reorganização das empresas existentes do sistema Eletrobrás, o que pode-se verificar por meio de cisões, fusões, incorporações e redução de capital nas empresas. Quanto à transmissão, o despacho de energia das empresas geradoras integrantes do mercado de energia elétrica passou a ser administrado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), nova agência que veio substituir a Eletrobrás na função de coordenador da operação interligada. A cisão dos ativos nucleares de Furnas, constituídos pela Central Nuclear, deu origem à Eletrobrás Termonuclear S.A. (Eletronuclear), empresa criada em 1997, como subsidiária da Eletrobrás, e cuja organização visou à manutenção do monopólio da União sobre o setor nuclear. Com o programa de desestatização, foram privatizadas todas as empresas distribuidoras de energia elétrica do país, algumas ainda controladas pelo estado como a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), mesmo sendo uma empresa mista de capital aberto.

O sistema elétrico por ser de capital intensivo, ter infra-estrutura complexa para o desenvolvimento econômico, ser portadora de externalidades, necessita da atenção especial por parte do governo, por isto é comum a intervenção estatal para este tipo de indústria monopolista. Sendo assim, é fundamental que este setor seja controlado de alguma forma, para evitar abusos econômicos por parte dos

empresários. Duas formas de regulação da indústria de rede se destacaram: uma americana e outra europeia. A primeira, baseada no interesse público (*general interest* ou *public interest*) é centrada no controle dos monopólios privados das indústrias de rede, tendo como características básicas o arcabouço jurídico institucional norte-americano, apoiado no *Common Law* e com apoio da jurisprudência para arbitragem dos conflitos entre diferentes agentes. Esta abordagem do serviço público está vinculada ao liberalismo político que, através da esfera do direito público busca proteger os consumidores do poder do monopólio dos operadores das indústrias de rede.

Os instrumentos de regulação, em particular os mecanismos tarifários, garantiam a operação das indústrias de rede articuladas em torno da estrutura monopolista, e por outro lado limitavam a extensão geográfica das atividades e davam poderes às *Public Utility Commissions* que atuam como órgãos reguladores estaduais. Na Europa, o estado assumiu a responsabilidade de planejamento, operação, coordenação e gestão da infra-estrutura econômica. Do ponto de vista da estrutura industrial, este modelo caracterizou-se pela constituição de grandes empresas estatais dispostas de monopólios territoriais e integrados verticalmente. Assim, nos Estados Unidos a maior parte das empresas de utilidade pública são de capital privado. Ocorreu o mesmo em muitos países que implementaram programas de privatização de empresas estatais, como o Brasil, pois a transferência de ativos do estado para o capital privado não altera a natureza do serviço público.

Após o final da segunda guerra mundial, as indústrias de infra-estrutura foram favorecidas pelas condições de base do ambiente econômico. Pela oferta, as inovações tecnológicas e institucionais favoreceram a exploração de oportunidades de economias de escala e de escopo, promovendo a redução de custos e a melhoria e padronização da qualidade do serviço. Pelo lado da demanda, a integração de mercados, em um contexto de crescimento econômico sustentável provocou um forte incremento da demanda, abrindo novas oportunidades para economias de escala e de escopo. Com estes fatores, resultou a constituição de monopólios públicos territoriais operados por uma ou mais empresas estatais, com forte integração vertical. Por isto, as empresas estatais desses setores eram vistas como fontes de externalidades positivas para os demais segmentos produtivos, cabendo ao estado suprir as falhas de mercado nos setores de infra-estrutura em matéria de

suprimento de investimentos. Em outras palavras, o objetivo de expansão setorial continuou sendo a principal missão da empresa estatal. A regulação nesse modelo não assumiu a mesma forma na Europa em relação ao modelo americano. As tarefas fundamentais de planejamento, operação, financiamento, regulação e coordenação obedeciam a centralização das esferas de decisão. Muitas vezes distorcidas por estarem sobre o controle de ministérios diferentes. Como as decisões eram de esfera pública, não justificavam a existência de agências de regulação como nos Estados Unidos.

Em 2001, a crise de energia elétrica desnudou a fragilidade do sistema brasileiro em gerar, transmitir e distribuir energia elétrica para o Brasil e ficará por muito tempo registrado na história do setor elétrico brasileiro, devido à ocorrência da falta de abastecimento de energia, deflagrada a partir da constatação dos baixos níveis de armazenamento dos reservatórios de água nas barragens das hidrelétricas. Causou transtornos e perdas significativas para os consumidores e para o país, onde o consumidor brasileiro, através de uma rápida conscientização sobre a gravidade da crise, assumiu o histórico papel importante na condução das políticas públicas de conservação energética nacional.

A principal consequência positiva foi a implantação do Programa Emergencial de Redução do Consumo de Energia Elétrica. O governo criou a Câmara de Gestão da Crise de Energia (CGE)⁸, com o objetivo de propor medidas para conservação e racionalização do uso. Um programa de medidas e ações foi adotado e denominado de PEB (Plano Energia Brasil) – Eficiência Energética (ASSUMPÇÃO, 2001).

A imensa lacuna aberta na oferta de energia elétrica promoveu um esforço monumental por parte do governo e principalmente o engajamento do empresariado e da população. Todos estavam imbuídos da real necessidade de economizar energia elétrica, desta forma foi possível atravessar este longo período de estiagem sem maiores consequências, tais como a implantação do Programa de Corte de Energia. Deram resultados os planos do governo para minorar os efeitos do racionamento de energia elétrica com o aumento de oferta de energia pelas demais usinas não hidráulicas, as quais tiveram que operar por longos períodos a plena

⁸ Comitê Técnico para Eficientização do Uso da Energia (CGE), criado em 10 de julho de 2001, pelo Presidente da Câmara de Gestão da Crise de Energia, com o objetivo de propor medidas para conservação e racionalização do uso de energia elétrica.

carga. Ficou o aprendizado do que pode acontecer sem um planejamento adequado e investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia.

Este difícil momento pelo qual o país atravessou, foi mais uma oportunidade para o desenvolvimento de ações de eficiência energética. Como principal legado deste esforço, podemos citar a aprovação de diversas Leis e Decretos que estabeleceram os procedimentos e as responsabilidades para os níveis de eficiência energética e criou o CGIEE⁹. O PEB propôs mecanismos capazes de superar as barreiras existentes e criar um mercado sustentável, assim as ações de combate a crise buscaram desenvolver novas tecnologias e estimular a oferta e a demanda de produtos e de serviços eficientes no mercado nacional e criaram condições para a atuação da população e das empresas para a conservação de energia. O plano de trabalho elaborado e aprovado pelo CGIEE foi desenvolvido tendo como referência um levantamento da experiência internacional, principalmente a americana e européia. Os trabalhos do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) conduzido pelo Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) estabeleceram índices de consumo específico de energia de forma voluntária para alguns equipamentos. O avanço que a Lei de eficiência energética proporciona é que estes índices passaram a ser compulsórios e todos os fabricantes e importadores foram obrigados a adotar as medidas para obedecer às regulamentações estabelecidas pela nova legislação. Neste caso específico, os motores elétricos trifásicos foram os primeiros a receber a atenção do INMETRO.

⁹ Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiências Energéticas (CGIEE) tem como atribuições a elaboração das regulamentações específicas para cada tipo de aparelho consumidor de energia, dentre outras.

CAPÍTULO 2 PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 PROCEL

Em 1985, surge o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), criado pelos Ministérios de Minas e Energia (MME) e da Indústria e Comércio e gerido pela Eletrobrás, utiliza os fundos da própria empresa e os da Reserva Global de Reversão (RGR)¹⁰ para exercer suas atividades e em julho de 1991, foi transformado em programa de governo. De 1986 a 2007, a Eletrobrás-Procel investiu cerca de R\$ 359,22 milhões nos programas de eficiência energética, que somados aos recursos do RGR (R\$ 627,56 milhões) e a outros investimentos (R\$ 37,49 milhões), totaliza uma quantia superior a R\$ 1 bilhão (ELETROBRÁS, 2009). Estima-se que estes investimentos geraram um saldo positivo em economia de energia em torno de 28,53 bilhões de kWh/ano, o que equivale a uma usina de 6.841 MW¹¹, a menos no sistema nacional (ELETROBRÁS, 2009).

O consumo de energia elétrica no Brasil representado no Gráfico 1, evidencia o setor industrial como o maior consumidor (46%), seguidos pelo residencial (24%) e comercial (16%), sendo assim, o Procel desenvolveu programas e formas de atuação para reduzir o consumo de energia e aumentar a eficiência energética setorialmente. O Procel tem um papel importante dentro do planejamento de metas do setor elétrico brasileiro, é ele que estabelece as metas de redução de consumo de energia, dimensionando as necessidades de transmissão da oferta de energia. O desenvolvimento tecnológico, a segurança energética, a eficiência econômica, novos parâmetros de consumo incorporados à cidadania e a redução de impactos ambientais, são metas essenciais que também fazem parte dos objetivos do Procel. O fomento à pesquisa científica, a capacitação de pessoal e de laboratórios visam o desenvolvimento tecnológico; os programas de eficiência energética atingem diretamente a eficiência econômica e a segurança energética; e a educação ambiental visa incorporar novos parâmetros de cidadania e a redução dos impactos ambientais.

¹⁰ RGR é um "Fundo federal constituído com recursos das concessionárias, proporcionais ao investimento de cada uma." (ELETROBRÁS, 2009).

¹¹ Energia calculada considerando um fator de capacidade médio típico de 56% para as usinas hidrelétricas e incluindo 15% de perdas médias de transmissão e distribuição para a parcela de conservação de energia.

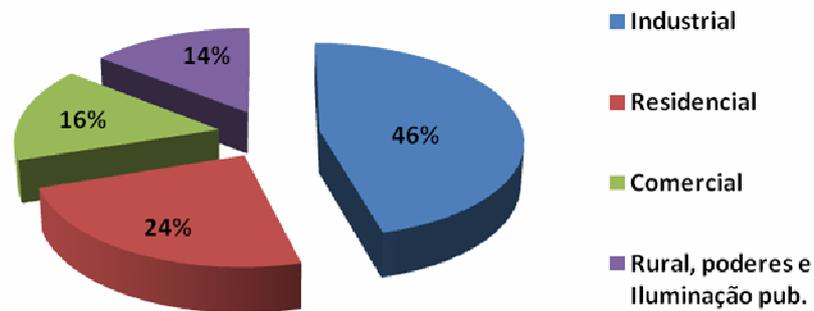


Gráfico 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil - por classe de consumidor – 2008

Fonte: EPE (2009).

Nota: Total 392.764 GWh.

Os Projetos de Eficiência Energética do Procel oferecem a oportunidade de crescimento da demanda elétrica, pois o aumento do consumo não implica necessariamente na construção de novas usinas geradoras de energia elétrica porque uma parte da energia necessária será proveniente da redução do desperdício atual.

Um dos pontos fracos deste programa, conforme Haddad (1999)¹², é que ele foi criado por decreto e o torna frágil institucionalmente, além de ficar dentro da Eletrobrás, que tem seus interesses próprios e conflitos em suas decisões.

O Gráfico 2 mostra a variação de consumo de energia elétrica no País nos últimos 15 anos, por setor.

¹²Jamil Haddad, pesquisador da Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (Fupai).

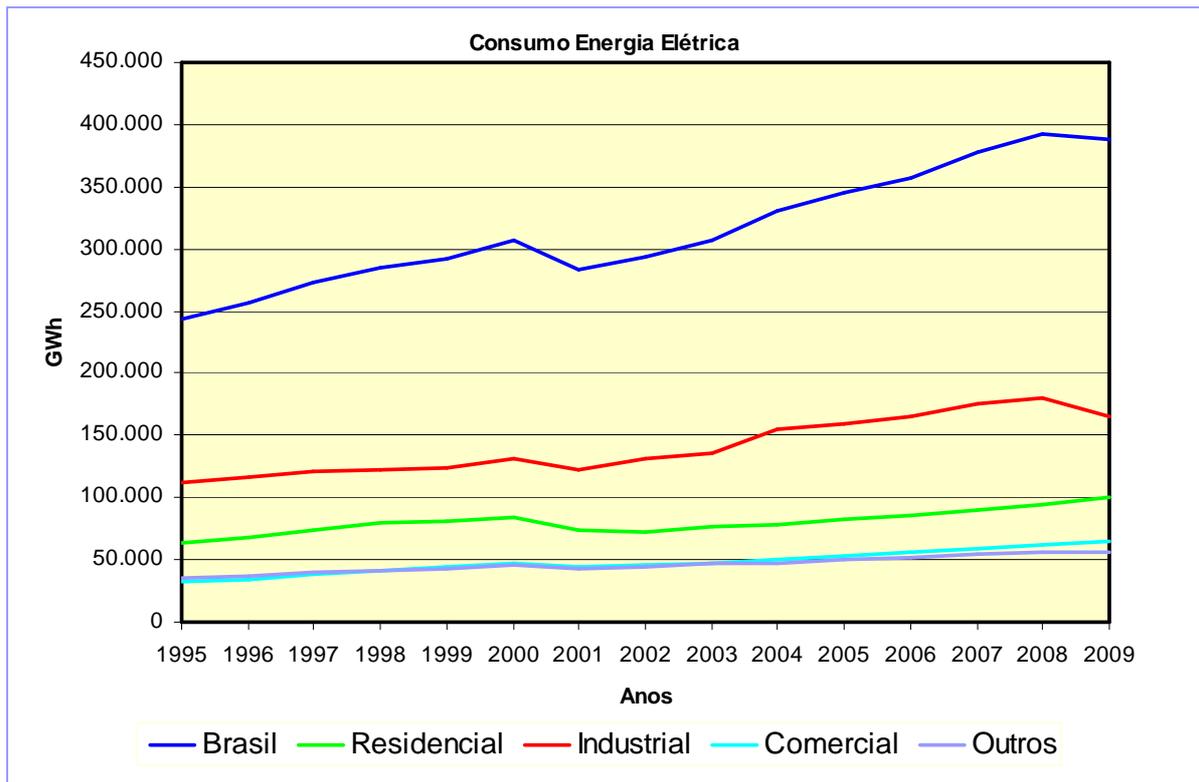


Gráfico 2 – Consumo de energia elétrica por setor em 15 anos – 1995 - 2009

Fonte: EPE (2009).

Nota: Elaboração própria.

2.2 ÁREAS DE ATIVIDADES

2.2.1 Comércio

O setor comercial brasileiro consome hoje em torno de 62,8 bilhões de kWh/ano de energia elétrica, dos quais 14% são desperdiçados de várias maneiras, o que representa 20% de todo o desperdício do Brasil (ELETROBRÁS, 2009).

O PROCEL atua diretamente no setor comercial através de parcerias com as associações de classes e as associações comerciais estaduais para desenvolver um número limitado de empresas comerciais em modelos de eficiência energética nos respectivos segmentos, os quais servem de modelos de referência que poderão ser replicados em outros estabelecimentos.

O Programa também inclui atividades nas áreas de Treinamento Técnico e Gerencial, com suporte do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), da Eletrobrás objetivando capacitar profissionais nas empresas comerciais, nos agentes financeiros e nas empresas de consultoria. (ELETROBRÁS, 2009).

2.2.2 Saneamento

Segundo informações do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), 2,5% do consumo total de energia elétrica do país se dá pelos prestadores de serviços de água e esgotamento sanitário, o que equivale a 9,8 bilhões de kWh/ano (ELETROBRÁS, 2009). Analisando o crescimento das cidades e a universalização dos serviços de abastecimento de água e saneamento brasileiro, pode-se deduzir que haverá escassez no fornecimento de energia elétrica para este setor, pois oferta e demanda não está andando par e passo.

Através do PROCEL, a Eletrobrás vem desenvolvendo o Programa de Eficiência Energética no Saneamento Ambiental (PROCEL Sanear), que atua juntamente com outros programas de desenvolvimento do setor.

2.2.3 Indústria

De toda energia elétrica disponibilizada na matriz energética do país, o setor industrial consome em torno de 46% do total. Os sistemas motrizes são responsáveis pelo consumo de 50% de toda a energia elétrica consumida na indústria, o que motivou a Eletrobrás a atuar de forma incisiva no combate ao desperdício neste setor.

O Projeto de Otimização Energética de Sistemas Motrizes surgiu em meados de 2001, durante a crise do abastecimento de energia elétrica, como uma alternativa possível e viável para a redução do consumo de energia nas indústrias. O projeto atua em dois ramos de atividades: promover ações para a maior utilização de motores de alto rendimento e minimizar as perdas nos sistemas motrizes já instalados por meio de ações de capacitação das equipes técnicas.

Entretanto, "a indústria não é prioridade nos programas governamentais de eficiência energética apesar de ser o maior consumidor de energia." (ELETROBRÁS; PROCEL; CNI, 2009). Os recursos do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL, provenientes das receitas líquidas das concessionárias de energia elétrica não são aplicados em projetos de eficiência energética na indústria. Para se ter uma idéia, entre os períodos de 1986 a 2006, "[...] estima-se que as indústrias brasileiras pagaram R\$ 157 bilhões em consumo de energia

elétrica [...]” (ELETROBRÁS; PROCEL; CNI, 2009) e só foi reinvestido em projetos da área apenas 0,09% deste valor.

2.2.4 Edificações

O consumo de energia elétrica nas edificações brasileiras é significativo chegando a quase 50% de toda energia produzida no país. Estima-se que existe um potencial de economia em torno de 30%, se as edificações passarem por um *retrofit*¹³ e se as novas edificações forem projetadas para a utilização de tecnologias eficientes, esta economia pode chegar a 50%.

Segundo análise do Procel, “[...] a economia teórica em edificações residenciais, comerciais, de serviços públicos pode chegar aos 53 bilhões de kWh/ano, caso fosse adotada uma política agressiva para a questão do *déficit* habitacional brasileiro” (ELETROBRÁS, 2009), o suficiente para abastecer 2,7 milhões de residências.

A perspectiva do grande potencial de economia de energia elétrica existente nas edificações nacionais resultou na criação do PROCEL Edifica em 2003.

2.2.5 Prédios Públicos

Esta é uma das linhas de atuação do PROCEL, específica para edificações públicas no Brasil. No momento, este projeto está passando por uma reestruturação para a modernização de seus procedimentos.

2.2.6 Gestão Energética Municipal

O Núcleo de Gestão Energética Municipal (PROCEL GEM) atua como colaborador da administração pública na gestão eficiente de energia elétrica. Este programa está em funcionamento desde 1986 e hoje conta com uma série de parcerias para prover conhecimento técnico às Prefeituras para auxiliar na gestão da energia elétrica do município.

¹³ Reforma nas edificações existentes visando atender às novas exigências legais, de conforto e de eficiência energética.

2.2.7 Iluminação Pública

O Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes (Reluz) visa melhorar a eficiência dos serviços públicos ligados ao uso da energia elétrica.

Segundo dados do PROCEL, a iluminação pública no Brasil corresponde a aproximadamente 4,5% da demanda nacional e a 3% (11,8 bilhões de kWh/ano) do consumo total de energia elétrica do país. Com a implementação do projeto Reluz, a previsão é uma redução de até 292 MW da carga, no horário de ponta e uma economia de até 1,3 bilhões de kWh/ano até 2010 (ELETROBRAS, 2009).

2.2.8 Capacitação Técnica

O PROCEL promove cursos de capacitação em conservação de energia, além de manter convênio com escolas e universidades para formação de profissionais habilitados em eficiência energética. Existem ações do PROCEL na educação básica, escolas técnicas e no ensino superior. Até dezembro de 2008, quase 22 milhões de estudantes já haviam recebido os treinamentos dos Programas do PROCEL e estima-se que houve uma economia de energia acumulada de quase 2,85 bilhões de kWh de 1990 até 2008 (ELETROBRAS, 2009).

2.3 PROGRAMAS DO PROCEL

2.3.1 PROCEL Edifica

O objetivo deste programa é estimular as medidas de eficiência energética aplicadas às edificações: Eficiência Energética das Edificações (EEE) e Conforto Ambiental (CA). As metodologias de atuação do PROCEL Edifica são através de parcerias com Universidades para capacitação e ampliação de laboratórios de conforto ambiental e eficiência energética, Órgãos da Administração Pública e a Caixa Econômica Federal (CEF), além de esforços para a elaboração da Regulamentação da Lei da Eficiência Energética e os códigos de obras para as prefeituras.

2.3.2 PROCEL Educação

O PROCEL Educação visa difundir os conceitos de eficiência energética nos estabelecimentos de ensino médio e superior do país. A metodologia utilizada para disseminar a cultura da conservação energética é realizada através de parcerias com as concessionárias de energia elétrica.

2.3.3 PROCEL EPP

O PROCEL Eficiência Energética nos Prédios Públicos (EPP) foca na redução do consumo de energia elétrica nos Prédios Públicos. O método de atuação deste programa é a divulgação das melhorias conseguidas em outros estabelecimentos públicos (usados como referência) e as técnicas utilizadas para conseguir estes ganhos com eficiência energética.

2.3.4 PROCEL GEM

O PROCEL Gestão Energética Municipal (GEM) apóia a administração pública na gestão e uso eficiente da energia nos prédios públicos, serviços de saneamento e iluminação pública. A atuação deste programa é através da promoção de eventos e capacitação de técnicos para auxiliar as prefeituras a engajar-se no programa. O Prêmio PROCEL - Cidade Eficiente em Energia Elétrica visa destacar os municípios que conseguiram índices satisfatórios de eficiência energética, através de ações voltadas para este fim.

2.3.5 PROCEL Indústria

O seu objetivo é dar suporte aos segmentos da área industrial para a melhoria do desempenho energético das plantas de processamento industrial. Este Programa atua através de convênios com as federações das indústrias dos estados para capacitar profissionais para atuarem diretamente de forma eficaz nas unidades industriais, de forma a que houvesse um efeito multiplicador de projetos e ações dentro da indústria. A eficiência energética deveria ser foco substancial neste programa, mas ficou como coadjuvante, na espera que este pessoal capacitado pelo programa continuasse o mesmo, desenvolvendo projetos de efficientização elétrica na indústria.

Isto ocorreu de forma tímida e isolada em algumas empresas, pois os envolvidos nestas capacitações não viam como prioridade a viabilização de programas de eficiência energética e sim as tarefas de seu dia a dia.

2.3.6 PROCEL Info

Tem o objetivo de divulgar e difundir notícias, eventos, publicações e reportagens sobre eficiência energética no Brasil e no Mundo. O PROCEL Info mantém um Portal¹⁴ na Internet com informações atualizadas sobre eficiência energética.

2.3.7 PROCEL Marketing

Visa a divulgação de como os princípios de conservação e uso racional da energia vem sendo conduzido e atua na promoção do PROCEL em todos os níveis da sociedade.

2.3.8 PROCEL Reluz

O foco principal é a efficientização da iluminação pública e semafórica. Atua diretamente na forma de treinamentos em iluminação pública para os agentes municipais.

2.3.9 PROCEL Sanear

O PROCEL Sanear tem como objetivos principais: promover ações que visem ao uso eficiente de energia elétrica e água; incentivar o uso eficiente dos recursos hídricos e contribuir para a universalização dos serviços de saneamento ambiental. Também atua através de convênios com universidades e prestadores de serviços de saneamento.

2.3.10 Selo PROCEL

O Selo PROCEL (ou Selo Verde de Eficiência Energética) foi criado através de um Decreto Presidencial de 8 de Dezembro 1993, "[...] com o objetivo de identificar os equipamentos que apresentem níveis ótimos de eficiência energética".

¹⁴ <<http://www.eletrabras.com/pci/main.asp>>.

(ELETROBRAS, 2009). O Selo orienta o consumidor na compra de equipamentos que tem os melhores níveis de eficiência de cada categoria.

A Etiqueta INMETRO, apresentada na Figura 1, aponta o nível de eficiência por tipo de equipamento. Bem como demais informações técnicas elucidativas para caracterizar o desempenho do equipamento.

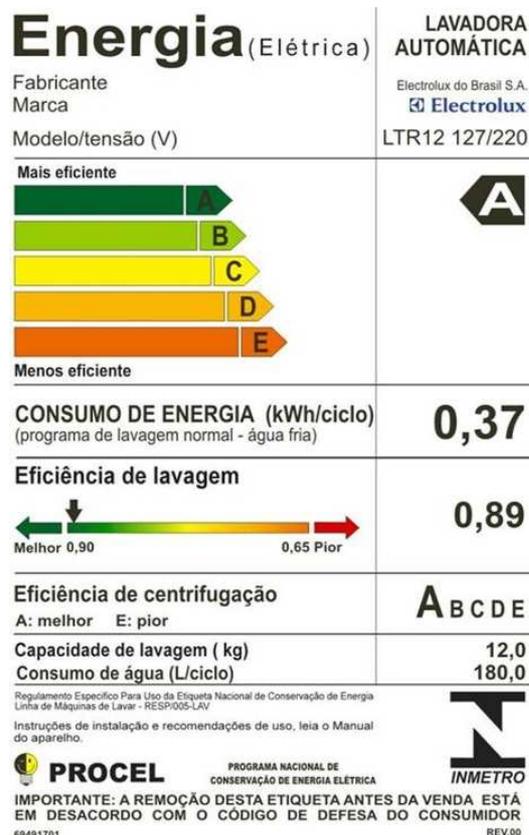


Figura 1 - Etiqueta INMETRO
Fonte: Eletrobrás. Procel (2009).

Para receber a Etiqueta INMETRO e, posteriormente o Selo PROCEL (Figura 2), o produto deve ser submetido a ensaios específicos em laboratório indicado pelo PROCEL.

O uso do Selo PROCEL é limitado aos equipamentos que são testados e obtêm a classificação "A", conforme as especificações para cada equipamento. A validade da concessão do selo é expirada ao final do ciclo de acompanhamento dos produtos, podendo ser renovada.



Figura 2 - Selo PROCEL de Eficiência
Fonte: Eletrobrás. Procel (2009).

O processo de acompanhamento é realizado através de amostras anuais dos produtos que usam o Selo PROCEL. A seleção dos produtos é feita pelo PROCEL e informada aos laboratórios para que façam as análises necessárias. Este selo representa a maior eficiência do equipamento em relação ao consumo de energia elétrica por categoria. É a garantia que o equipamento analisado possui o melhor custo benefício em relação ao consumo energético.

2.3.11 Prêmio PROCEL

Instituído em 1993, pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o Prêmio PROCEL de Conservação e Uso Racional de Energia é uma forma de reconhecer e estimular o combate e a redução do desperdício de energia, assim como a substituição eficiente por fontes renováveis. Em 2009, foi realizada a sua 13ª edição e são premiadas as categorias: Transporte, Setor Energético, Comércio, Edificações, Imprensa, Micro e Pequenas Empresas, Indústria e Órgãos e Empresas da Administração Pública.

Este é um prêmio oficial e nacional para reconhecer as ações relacionadas à implementação de eficiência energética no país.

Os principais critérios de avaliação são:

- a) o potencial de replicação das medidas adotadas;
- b) a redução do consumo de insumos energéticos utilizados no processo;

- c) a redução da demanda de energia;
- d) benefícios ambientais;
- e) disseminação interna dos conceitos implantados e;
- f) conscientização da comunidade.

O Procel promove cursos de capacitação em conservação de energia, além de manter convênio com escolas e universidades para formação de profissionais habilitados em eficiência energética. Existem ações do Procel na educação básica, escolas técnicas e no ensino superior. Até dezembro de 2008, quase 22 milhões de estudantes já haviam recebido os treinamentos dos Programas do Procel e estima-se que houve uma economia de energia acumulada de quase 2,85 bilhões de kWh de 1990 até 2008 (ELETROBRAS, 2009). Apesar de todos estes programas e esforços, com as reformas do setor elétrico, após 1998, o Procel entrou em declínio com as resoluções da Aneel obrigando investimentos das empresas concessionárias de eletricidade em:

- a) Eficiência no uso final;
- b) Eficiência na oferta e;
- c) Atividades de P&D.

Antes das resoluções da Aneel os programas eram implementados por agentes do setor público, como a Eletrobrás/Procel, depois foram substituídas por ações indiretas: Programas implementados por companhias de eletricidade através de regulação compulsória e pelo mercado, conforme comenta Januzzi (1997), e recomenda que seja desenvolvida uma política pública para gerir a eficiência energética no Brasil, voz que ecoaria nas entidades de classe posteriormente. Comenta ainda que existe um paradoxo, onde as empresas concessionárias são obrigadas a investir 1% da sua receita operacional bruta (ROL) em P&D e Eficiência Energética ao mesmo tempo que sua atividade fim é vender energia elétrica, por isto necessita-se pensar num sistema de regulamentação para o setor (JANUZZI, 1997).

2.4 RESULTADOS DO PROGRAMA

Segundo dados do Procel, em 2007 o Brasil economizou cerca de 1% do consumo de energia elétrica (3,9 bilhões de kWh/ano) devido a ações do Programa, o equivalente a uma usina nova de 942 MW com uma economia de R\$ 2,76 bilhões.

Se for analisado de 1986 até 2007, os resultados acumulados mostram uma economia de 28,53 bilhões de kWh (uma usina equivalente de 6.841 MW), o suficiente para atender 16,3 milhões de residências durante um ano¹⁵. Houve um adiamento de investimentos pelo lado da oferta de R\$ 19,9 bilhões aproximadamente, devido a estes ganhos de eficiência energética. Também é atribuída ao Procel a redução de demanda de ponta de 1.357 MW do sistema elétrico nacional em 2007. A partir da crise energética de 2001, com mudanças de hábitos da população e com o aumento da eficiência energética diminuiu a necessidade de novas usinas de energia, evitando assim, o lançamento de milhões de toneladas dos vários Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. De acordo com estudo do Procel e do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), até 2010 os programas de eficiência energética terão contribuído para evitar a emissão de cerca de 230 milhões de toneladas de carbono na atmosfera. O que corresponde à quase 29% das emissões de GEE do setor elétrico brasileiro, desde o início do programa (ELETROBRAS, 2009). Mesmo assim, conforme Hollanda (2010), as ações de implantação de eficiência energética no Brasil andam a passos lentos.

O tratamento da eficiência é dificultado porque não se inaugura uma unidade de eficiência, tal como se inaugura uma unidade de refino de petróleo ou uma hidrelétrica. É preciso buscar meios para expressar como certas ações reduzem o uso de energia sem afetar a produção da economia ou conforto das pessoas.

2.5 EXPECTATIVAS DO PROGRAMA

As estimativas indicam que em 2015 será necessário um suprimento de energia elétrica em torno de 780 TWh/ano, se forem mantidas a mesma estrutura de consumo atual do Brasil. Contudo, os estudos do Procel apontam que é possível uma redução anual de até 130 TWh/ano se forem reduzidos os desperdícios. Segundo o Procel, há também a possibilidade de redução das perdas técnicas na

¹⁵ Considerando que a residência típica brasileira consome em média 145,2 kWh/mês.

transmissão e distribuição das concessionárias de 15% para 10% e ainda espera-se que os equipamentos que participam do programa (Selo Procel) aumentem o desempenho em 10% (ELETROBRÁS, 2009).

Conforme o Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), o Brasil tem feito sua parte na mitigação da mudança do clima e está determinado a fazer mais, no contexto de um esforço global de combate à mudança do clima. Investimentos externos, novas tecnologias e capacitação através de uma cooperação internacional serão muito bem vindas para auxiliar no cumprimento dos objetivos definidos no plano. O fornecimento de apoio financeiro e tecnológico para os países em desenvolvimento é parte integrante das diretrizes da Convenção Quatro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

O que o Brasil pretende fazer é fornecer meios para o aumento da competitividade da economia e dos produtos brasileiros, sem negligenciar a preservação do meio ambiente e os esforços em reduzir a desigualdade da população, aumentando sua renda e buscando um modelo econômico de emissões diferente dos seguidos pelos países já industrializados.

2.6 DEFICIÊNCIAS DO PROGRAMA

A vulnerabilidade do Procel está evidenciada de acordo com as seguintes ineficiências dos programas:

- a) Adesão da indústria e comércio aos Programas do Procel é totalmente voluntária, o que dificulta a eficiência dos próprios programas, pois como não há obrigatoriedade de buscar a máxima eficiência de produtos, processos e serviços, a eficiência energética é sempre colocada em plano secundário;
- b) Ações voltadas para a eficiência energética no setor elétrico não possuem boas avaliações e seus resultados apresentam uma incerteza muito elevada;
- c) O Procel Reluz, Sanear e GEM, pela própria natureza dos programas, não incluem todas as cidades e municípios do país;
- d) O Procel Edifica e EPP poderiam apresentar melhores resultados, o que não acontece devido à baixa conscientização dos usuários.

O PROCEL estabelece metas de redução de conservação de energia que são consideradas no planejamento do setor elétrico, conforme a projeção das necessidades de expansão da oferta de energia. Com a atual evolução do consumo de energia elétrica no país, estima-se para 2015 uma necessidade de fornecimento de 780 TWh/ano. Diminuindo-se os desperdícios, estima-se uma redução anual de até 130 TWh. Os resultados do Procel apontam para uma economia anual de 1% do consumo total de energia e as expectativas são de ganho possível de 16,7% até 2015. Por mais eficiente que sejam os programas atuais, os números indicam que dificilmente será possível chegar à redução esperada.

2.7 OUTROS PROGRAMAS

Alguns programas já existem e operam de forma satisfatória, como o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet), *Energy Saving Company* (ESCOs) (ou Empresa de Conservação de Energia), e o *Green Buildings*. Persegue-se um objetivo de fomentar a eficiência energética através de leilões de eficiência energética, o qual ainda encontra-se em fase embrionária e necessita de regulamentação para se tornar viável.

2.7.1 Conpet

O Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet) foi criado em 18 de Julho de 1991, por Decreto Presidencial. O CONPET é um programa do Ministério de Minas e Energia coordenado e gerido com recursos técnicos, administrativos e financeiros da Petrobras S.A.

Seu principal objetivo é incentivar o uso eficiente destas fontes de energia não renováveis no transporte, nas residências, no comércio, na indústria e na agropecuária, proveniente de petróleo e gás natural.

A Petrobras é responsável por elaborar projetos, operacionalizar as estratégias, promover a articulação institucional e divulgar as ações do programa exercendo a função de Secretaria Executiva, ligada à Diretoria de Gás e Energia. Os projetos, de abrangência nacional, dependem de parcerias com o governo, escolas, empresas, sociedade civil e consumidor final.

Dentre outros o programa deve realizar projetos para reduzir o consumo de óleo diesel e diminuir a emissão de fumaça preta, difundir o uso do gás natural como combustível, estimular novas tecnologias no setor de eletrodomésticos e empresas a racionalizar energia, educando novas gerações com os conceitos de racionalização, economia sustentável e qualidade de vida.

2.7.2 Esco

No PEB são identificados os mecanismos que visam superar as barreiras e contribuir para a gradual autonomia do mercado de eficiência energética. Dentre estes mecanismos, destacam-se aqueles voltados para o fortalecimento das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ESCOs). Estas empresas realizam investimentos em projetos de eficiência energética assumindo a responsabilidade de todas as fases do projeto, financiando os custos de investimentos e sendo remuneradas com a economia de energia obtida nos projetos. Destaca-se na experiência internacional onde foram grandes os resultados alcançados na área de eficiência energética com as ESCOs. Elas foram um dos principais agentes de disseminação de projetos de eficiência energética no mundo. Assim sendo, as ações voltadas para consolidar a atuação destas empresas e estimular o mercado de eficiência energética são fundamentais para o desenvolvimento da eficiência energética no Brasil.

No desenvolvimento do mercado de ESCOs, em qualquer parte do mundo, observou-se um desafio inicial a ser vencido. Contudo, depois de implantado e consolidado, o mercado deu demonstrações de sua vitalidade, crescendo de forma auto-sustentada. Este desafio inicial foi vencido através de iniciativas claras dos governos.

2.7.3 Green Buildings

Segundo a *United Nations Environment Programme* (UNEP), a indústria da construção é responsável por 40% do consumo mundial de energia e emite 30% dos Gases de Efeito Estufa (GEE) total. Diante desta análise, fica evidente que existe um potencial muito alto para redução de perdas energéticas e mitigação dos GEE, com baixo custo financeiro. Uma solução viável para este problema seriam as Construções Sustentáveis (*Green Buildings*), construções que combinariam *design* e

tecnologia e usariam sistemas de energias renováveis para atender as necessidades dos usuários com redução de emissões de CO₂. Muitos países já possuem políticas e padrões de eficiência energética para edificações, mas poucos destes estão contemplando a eficiência energética das edificações.

No Brasil existem duas iniciativas:

a) Selo Casa Azul;

O Brasil iniciou efetivamente nesta área em 2009, com o lançamento do "Selo Casa Azul", que é um instrumento do Governo Federal - Caixa Econômica Federal (CEF) para classificar os projetos habitacionais sustentáveis que serão financiados pela CEF. O objetivo do selo é qualificar os projetos dos empreendimentos habitacionais dentro de critérios socioambientais, que respeitem o meio ambiente, atendam às necessidades dos seus usuários e economizem energia. Os empreendimentos serão classificados como "ouro", "prata" e "bronze", de acordo com o número de critérios atendidos e agrupados por categorias: a) inserção urbana, projeto e conforto; b) eficiência energética, c) conservação de recursos materiais; d) uso racional da água e; e) práticas sociais.

b) Etiqueta de Eficiência Energética de Edificações.

Como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Ministério das Minas e Energia (MME), foi lançada em 2009 a Etiqueta de Eficiência Energética de Edificações, a qual permitirá avaliar a eficiência energética das edificações comerciais e de serviço público. Inicialmente, a etiqueta será opcional, mas a tendência é que se torne obrigatória ao longo do tempo, como no caso dos eletrodomésticos. A avaliação será feita baseada em 3 aspectos: a) envoltórios; b) sistema de iluminação e; c) sistema de ar condicionado. O objetivo maior é reduzir o consumo de energia elétrica, aproveitando os recursos naturais.

2.7.4 Leilões de Eficiência Energética

A eficiência energética é associada a uma "fonte virtual de energia", pois o que é economizado com as ações voltadas à conservação de energia não é gerado pelo sistema elétrico. É como se houvesse uma "fonte extra" de energia para suprir o consumo necessário para expansão do sistema elétrico, ou dito de outra forma, seriam como usinas virtuais de geração de energia elétrica. Os leilões de eficiência

energética estão baseados na negociação da energia conservada em formato de leilões (energia virtual), da mesma forma que são negociadas as novas fontes de energias renováveis (GARCIA, 2008). Estes leilões são vantajosos economicamente, socialmente e ambientalmente, pois evitam a expansão do sistema elétrico, geram novos empregos e não causam impactos ambientais. Uma das vantagens destes leilões seria a de viabilizar o uso da eficiência energética como alternativa à expansão do sistema de geração, como se a energia retirada do sistema fosse considerada como uma geração adicional. Porém a viabilidade dos leilões não é tão simples, pois os processos de M&Vs (Medição e Verificação) disponíveis precisam ser validados. Existem processos mais simples de empregar os leilões de eficiência energética, como por exemplo, no uso de força motriz na indústria, onde os modelos de M&Vs podem ser facilmente comprovados. Exemplo: a) troca de motores de baixo rendimento; b) eficientização do sistema de bombeamento; c) eficientização do sistema de condicionamento ambiental e; (d) aplicação de VSD¹⁶ (acionadores de velocidade ajustável).

Importante lembrar que um 1 MW de energia economizada (CME, 2009) com programas de eficientização energética é mais barato do que gerar o mesmo em energia nova¹⁷.

2.7.5 Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo, gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras, conforme Lei 10.847, 2004.

A Figura 3 exemplifica as diversas áreas e atribuições da EPE.

¹⁶ VSD – Acionador de velocidade ajustável, conversor de frequência ou inversor de frequência.

¹⁷ Energia Nova – Energia proveniente de empreendimentos de geração que entrarão em operação, ainda inexistente.

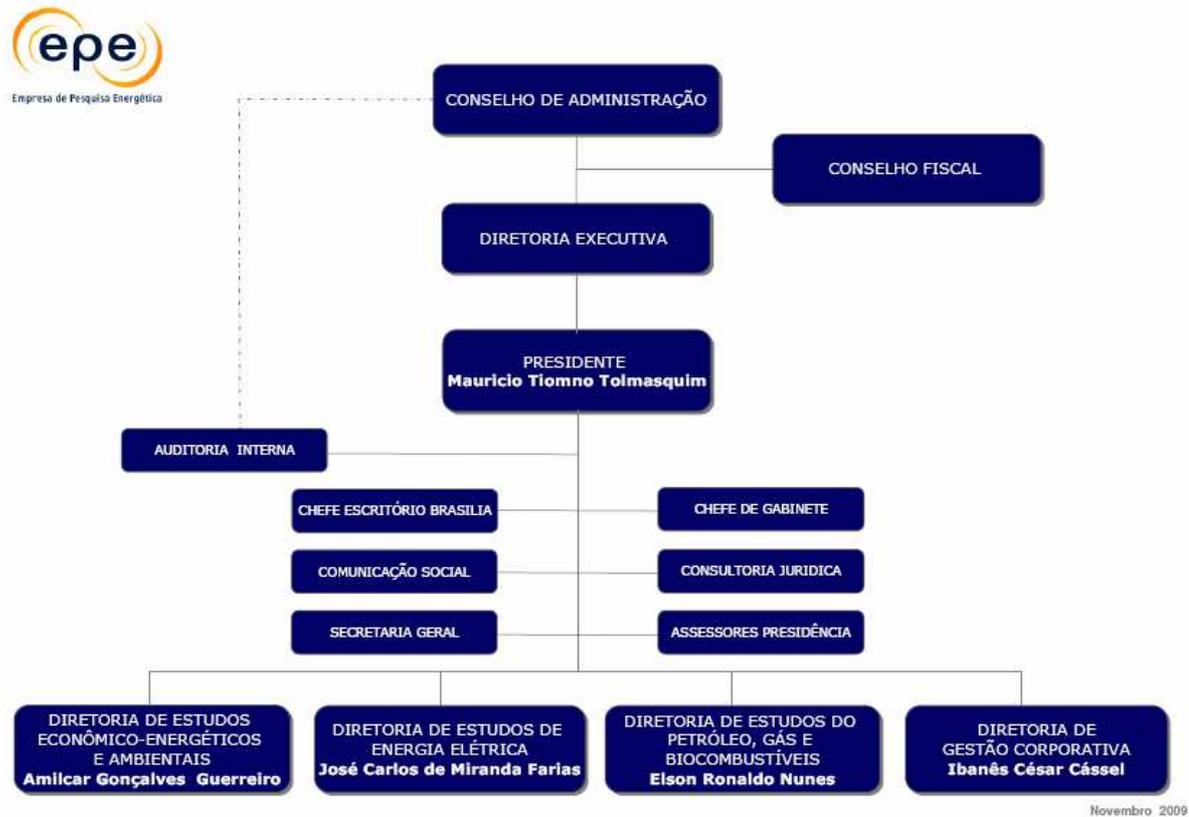
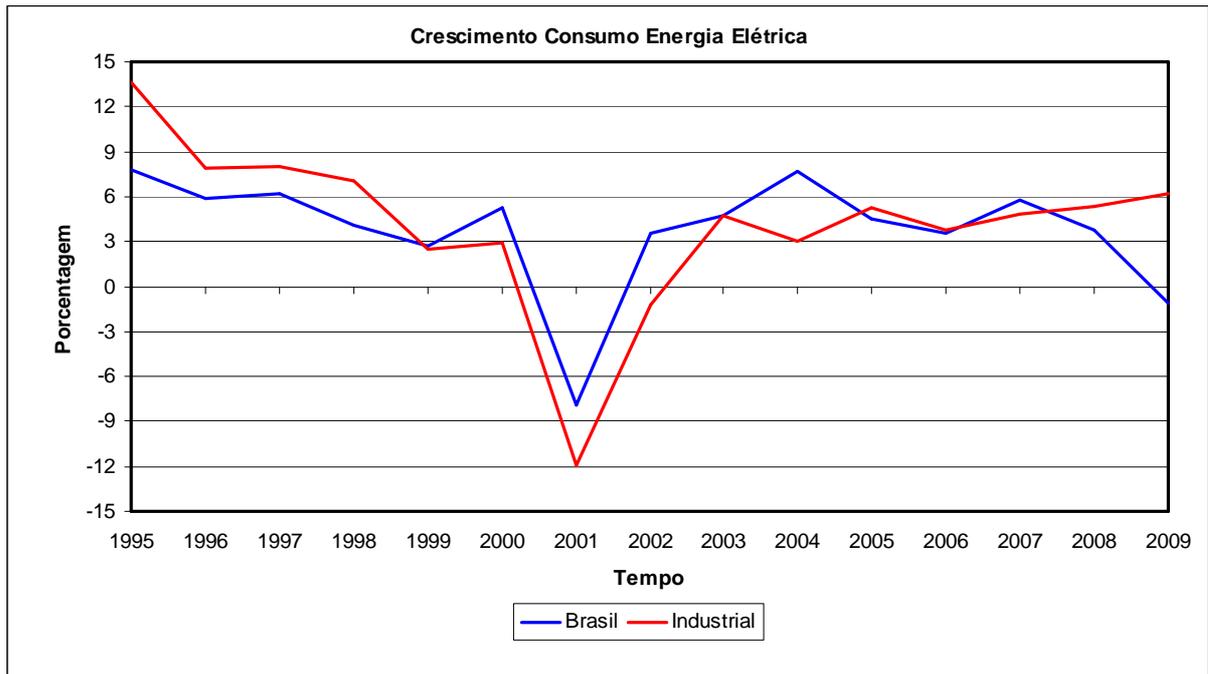


Figura 3 - Organograma EPE
Fonte: EPE (2009).

Conforme organograma acima, podemos avaliar a dimensão de atuação da EPE, o que pode não estar atendendo a toda demanda por subsídios ao setor de planejamento do país e apresentando conflitos de interesses na gestão deste planejamento nos trâmites governamentais.

O Gráfico 3 nos mostra a difícil tarefa que é executar o planejamento de oferta de energia elétrica no Brasil, devido as imensas variações de consumo, conforme mostrado para o período de 15 anos. Ele nos evidencia a crise de 2001 e a queda de consumo de energia no país em 2009. Mas mesmo durante esta última crise mundial, que afetou o mundo inteiro, o consumo industrial se manteve inalterado, com um leve crescimento. O que reforça a idéia de investir em projetos de eficiência energética nas indústrias.



CAPÍTULO 3 ARCABOUÇO JURÍDICO E O SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL

3.1 LEIS DO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL

O Brasil possui um arcabouço jurídico considerável a respeito de leis e decretos que as regulamentam. No Quadro 1, apresenta-se algumas que merecem destaque e discute-se, a seguir, a Lei específica de conservação de energia e sua regulamentação. Também é dado enfoque a dois projetos de Lei que fomentam a utilização das fontes de geração de energia alternativas e outro para redução da tributação sobre fontes de energia elétrica alternativas.

LEI	Data	Descrição Sucinta
12.212	2010	Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica
12.111	2009	Dispõe sobre os serviços de energia elétrica nos Sistemas isolados.
11.478	2007	Institui o Fundo de Investimento em Participações em Infra-Estrutura (FIP-IE), visando investimentos em novos projetos em energia e outros.
11.465	2007	Altera a Lei 9.991 de 24.07.2000, prorrogando até 31.12.2010, a obrigação das concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica aplicarem, no mínimo, 0,50% (cinquenta centésimos por cento) de sua receita operacional líquida em programas de eficiência energética no uso final.
10.848	2004	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica.
10.847	2004	Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME).
10.762	2003	Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica.
10.604	2002	Dispõe sobre recursos para subvenção à consumidores de baixa renda.
10.438	2002	Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária e universalização do serviço público de energia elétrica, cria o PROINFA, a CDE, dentre outros.
10.433	2002	Autoriza a criação do MAE, pessoa jurídica de direito privado, submetido a autorização, regulamentação e fiscalização da ANEEL, finalidade de viabilizar as transações de compra e venda de energia elétrica nos sistemas interligados.
10.310	2001	Autoriza a União a complementar os recursos ao pagamento de bônus aos consumidores residenciais de energia elétrica.
10.295	2001	Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, visando uso eficiente de recursos energéticos e preservação ambiental.
9.991	2000	Dispõe sobre realização de investimento em pesquisa e desenvolvimento e eficiência energética pelas empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

LEI	Data	Descrição Sucinta
9.427	1996	Institui a ANEEL, disciplina as concessões Serviços Públicos de Energia Elétrica.
9.163	1995	Autoriza a criação de subsidiária da ELETROBRÁS.
4.454	1964	Dispõe sobre a unificação de frequência da corrente elétrica.
3.890	1961	Autoriza a criação da ELETROBRÁS.

Quadro 1 – Principais Leis do sistema elétrico
 Fonte: ANEEL (2010).

3.1.1 Conservação de energia

A Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001, que trata da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia destaca que o estabelecimento dos níveis máximos de consumo específico de energia ou mínimos de eficiência energética dos equipamentos e máquinas será realizado com base em valores técnica e economicamente viáveis. Para o atendimento desta condição foi necessário reunir um conjunto de informações relacionadas ao mercado do equipamento em análise. A implementação da Lei de Eficiência Energética irá retirar do mercado, no médio e longo prazo, produtos energeticamente ineficientes e promover a fabricação e comercialização de produtos com novas tecnologias e mais eficientes energeticamente. Os recursos financeiros relativos aos investimentos necessários para o desenvolvimento tecnológico dos produtos virão das próprias empresas privadas, muitas pela competição em busca de fatias maiores dos mercados. Isso não exige o governo de propor uma política integrada de estímulo e incentivo ao desenvolvimento tecnológico nacional. O alto preço da energia já é um incentivo para a substituição de equipamentos menos eficientes por outros com maior rendimento. Exemplo típico neste caso foi a rápida aceitação da população na substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas de baixo consumo energético, movimento que teve pronta aceitação por toda a nação e foi a primeira ofensiva no plano de conservação de energia, já amparado pelo PBE, esta adoção foi espontânea, principalmente para atender um chamado do governo e principalmente pela conscientização de que algo deveria ser feito no curtíssimo prazo e esta ação dependia única e exclusiva dos brasileiros conscientes de novas dificuldades.

O decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, traz em seu conteúdo, a regulamentação específica sobre os grupos de equipamentos a serem certificados:

a) Grupo I – equipamentos elétricos - Neste grupo estão inseridos os equipamentos atendidos pelo PBE com relação à eficiência energética:

- Refrigeradores
- Congeladores
- Ar condicionado domiciliar
- Motores trifásicos
- Transformadores
- Sistemas de iluminação
- Aquecedores elétricos

b) Grupo II – Equipamentos que empregam outras fontes de energia - Neste grupo estão inseridos os equipamentos atendidos pelo PBE que utilizam energia solar e derivados de petróleo como combustível:

- Coletores solares
- Fogões a gás
- Aquecedores a gás

3.1.2 Projeto de Lei 630/03

Este projeto de lei vem de encontro com as necessidades de regulamentação do setor para a geração de energia a partir de fontes renováveis e incentiva a efficientização, pois traz no seu bojo incentivos à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis e a geração distribuída, bem como incentivos a eficiência energética e pesquisa e desenvolvimento.

Ele unifica 18 projetos de lei de estímulo às fontes renováveis alternativas de energia e objetiva manter o perfil renovável da matriz energética brasileira, aumentando a participação de fontes renováveis alternativas e diminuindo o espaço dos combustíveis fósseis.

Dentre outros, o projeto de lei determina que todos os prédios e instalações onde funcionem órgãos da administração direta ou indireta da União deverão seguir normas e parâmetros de uso e aplicação de materiais, equipamentos e serviços que

tenham a máxima eficiência energética em todo o seu ciclo de vida. A mesma regra vale para todo tipo de equipamento, instrumento, dispositivo ou máquina adquirido por órgãos e entidades da União.

Em relação à pesquisa e desenvolvimento, o Projeto institui o Fundo Nacional para a Pesquisa e desenvolvimento de fontes alternativas renováveis, com o objetivo de financiar programas de amparo à pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico voltados às fontes renováveis alternativas de energia e a produção e utilização de hidrogênio para fins energéticos. Os recursos do fundo virão dos encargos cobrados sobre a exploração de petróleo, e também das termelétricas movidas a combustíveis fósseis. O percentual que está sendo discutido é de 5% sobre a receita operacional líquida. Dentre outros recursos.

O Projeto traz, também, um forte motivador à expansão da geração de energia renovável, pois obrigará as distribuidoras a investir pelo menos 5% do crescimento da demanda prevista pelas empresas com fontes de geração de energias alternativas. O que vem de encontro com as solicitações dos fabricantes de forma a poder programar seus investimentos de produção de equipamentos para atender tal solicitação.

Mas cabe salientar que isto ainda é um projeto de Lei e que atualmente esta aprovada por seu relator Deputado Fernando Ferro e que agora segue os trâmites legais para aprovação no senado, por nova comissão a ser criada. Com esta futura lei o país ganhará em segurança energética com a diversificação da matriz, com a redução do uso de combustíveis fósseis (redução de emissão de GEE) e o desenvolvimento tecnológico na área de fontes renováveis alternativas e alavancando a eficiência energética nos diversos setores da economia (VIANA, 2009).

Este projeto demonstra a preocupação do poder legislativo com a matriz energética, mas não traz nada substancial a respeito de incentivos a atividade industrial.

3.1.3 PLS - Projeto de Lei do Senado nº 311/09, REINFA

O PLS 311/09, propõe um Regime Especial de Tributação para o Incentivo ao Desenvolvimento e à Produção de Fontes Alternativas de Energia Elétrica (REINFA) e estabelece medidas de estímulo à produção e ao consumo de energia limpa.

O que tem limitado a exploração do potencial de fontes limpas e renováveis é o seu custo mais alto em comparação às fontes convencionais, como as hidrelétricas e termoelétricas. Em face disso, é oportuna a redução da carga tributária incidente sobre essas fontes alternativas, de modo a dar a elas condições para seu desenvolvimento e exploração no Brasil.

Os incentivos fiscais abrangem a redução ou isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados, o Imposto de Importação, a Contribuição para o PIS/PASEP, e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), inclusive quando incidentes na importação.

Projeto de Lei do Senado que objetiva desonerar a geração de energia através do uso de fontes alternativa com um Regime Especial de Tributação, mas não menciona absolutamente nada sobre efficientização do uso da energia elétrica.

3.1.4 Plano Energia Brasil – Eficiência Energética

O PEB – Eficiência Energética, elaborado pelo MME em 2001, visa desenvolver mecanismos e instrumentos capazes de explorar o potencial energético através da promoção de ações com vistas à transformação do mercado atual de energia e à criação de um mercado sustentável de eficiência energética no Brasil. Em adição, a sustentabilidade deste mercado requer que haja uma demanda e uma oferta de produtos e serviços energéticos eficientes (ASSUMPÇÃO, 2001).

Os objetivos do Plano são obter resultados de economia de energia no curto e médio prazo e promover a transformação do mercado de eficiência energética no médio e longo prazo.

A proposta para o Plano está estruturada em quatro eixos básicos:

- a) Legislação: criação de um arcabouço legal mínimo para incrementar resultados na área de conservação, voltado para o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para máquinas e equipamentos consumidores de energia, a contratação de serviços de eficiência

energética pelo setor público e orientação de recursos financeiros para eficiência energética;

- b) Ambiente de negócios: visa estimular o mercado através da criação de mecanismos para reduzir os riscos técnicos e financeiros das operações de eficiência energética;
- c) Plano de Comunicação: objetiva mobilizar os consumidores para assegurar as economias obtidas no período do racionamento e conferir o apoio necessário à promoção da transformação do mercado;
- d) Projetos Específicos: implantação de três projetos – aquecedores solares, sistemas motrizes eficientes e prédios públicos.

O sucesso do plano requer que os agentes de mercado promovam os produtos eficientes como produtos que permitem a realização dos serviços energéticos em concorrência com os produtos convencionais. Para tanto, faz-se necessário a promoção de incentivos e a articulação entre os diversos agentes envolvidos (fabricantes, comerciantes, distribuidoras e consumidores) no sentido de estimular a demanda por produtos e serviços eficientes, criando, assim, uma escala adequada para viabilizar as novas condições de oferta.

O estímulo à oferta e à demanda visando o equilíbrio do mercado de eficiência energética se faz necessário para superar as barreiras existentes para o pleno desenvolvimento deste mercado.

No Brasil as principais barreiras para a implantação deste plano, foram:

- a) Falta de informação do consumidor;
- b) Ausência de linhas de crédito;
- c) Reduzida capacitação técnica de profissionais para atuarem em projetos de eficiência energética;
- d) Limitação da oferta de produtos eficientes no mercado tanto em relação a preços (produtos eficientes em geral são mais caros do que os convencionais) quanto à diversidade dos produtos.

Este projeto de Lei do Senado também fomenta a diversificação da matriz energética nacional, incentivando o uso de energias limpas e a efficientização da mesma. Nota-se uma grande preocupação do poder público em legislar a favor de uma maior conservação de energia e menores índices de emissão de GEE.

3.2 NOVO MODELO DO SISTEMA ELÉTRICO

O Brasil passou por diversas evoluções do seu sistema elétrico nacional, chegando ao modelo atual, o Quadro 2 exemplifica os 3 modelos e suas principais características:

Modelo Estatal (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo – Atual (2004)
Financiamento por recursos públicos	Financiamento recursos Públicos e Privados	Financiamento recursos Público e Privados
Empresas Verticalizadas	Empresas divididas por atividades: G-T-D-C.	Empresas divididas por atividades: G-T-D-C-I-E.
Empresas Estatais	Ênfase na Privatização das Empresas	Convivência Empresas Privadas e Estatais
Monopólios	Competição G e C.	Competição G e C.
Consumidores Cativos	Consumidores Livres e Cativos	Consumidores Livres e Cativos
Tarifas reguladas em todos os segmentos	Preços livres na G e C.	Ambiente Livre – Preços livres nas negociações de G e C. Ambiente Regulado – Leilão e licitação pela menor tarifa.
Mercado Regulado	Mercado Livre	Convivência Mercado Livre e Regulado.
Planejamento Determinativo - Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS)	Planejamento Indicativo - Conselho Nacional Política Energética (CNPE)	Planejamento pela EPE
Contratação – 100% Mercado	Contratação mercado – 85% → até Ago/2003 e 95% → até Dez/2004	Contratação 100% do mercado + reserva
Sobras e Déficits balanço energético rateado entre compradores	Sobras e Déficits balanço energético liquidados pelo Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE)	Sobras e Déficits balanço energético liquidados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Mecanismos de Compensação de Sobras e Déficits (MCSO) para as distribuidoras.

Quadro 2 - Comparação entre modelos do Setor Elétrico
Fonte: Câmara de Comercialização da Energia Elétrica (2007).

3.3 INCENTIVOS A EFICIENCIA ENERGÉTICA

Com o desenrolar dos programas do governo pós crise, e a evolução do PBE, podemos ressaltar outras iniciativas, além da substituição das lâmpadas incandescentes mencionadas anteriormente. Programas mais recentes, como a substituição de dez milhões de geladeiras ineficientes, ao longo de dez anos, este incentiva a população de baixa renda a comprar novos eletrodomésticos, alicerçado nas facilidades de acesso aos novos financiamentos exclusivos para a linha branca.

Um dos exemplos desta aplicação ocorre no estado da Bahia onde o consumidor de baixa renda assume 40% do valor do produto, e o restante é subsidiado pelo governo e o estado de Alagoas irá trocar 5.000 geladeiras para a população de baixa renda entre 2009/10, com o intuito de diminuir as emissões de GEE, melhorar a qualidade de vida dos beneficiados e diminuir o gasto de energia elétrica (CME, 2009). Como resultado de um consumo menor de energia elétrica, mais dinheiro irá sobrar e conseqüentemente, melhora na qualidade de vida dos mesmos.

Outra forma de cumprir a meta de substituição de 1 milhão de geladeiras por ano será a distribuição do eletrodoméstico diretamente à população carente, financiado pelo Fundo de Eficiência Energética (FEE), cobrado na conta de energia, no valor de meio por cento, e com este valor, será possível trocar 150 mil geladeiras por ano. Atualmente, entre 20 e 30 mil geladeiras são trocadas com o subsídio deste fundo. Existe a possibilidade de troca da geladeira velha por uma nova, entregando a mesma para reciclagem, e como incentivo, o comprador pagará juros menores. As geladeiras velhas usam CFC, (clorofluorcarbono), que danifica a camada de ozônio (equivalente ao CO₂), e elas ainda gastam o dobro da energia das geladeiras novas. Com a substituição destas 10 milhões de geladeiras em 10 anos, o governo não terá necessidade de construir uma nova usina de 600 megawatts, devido ao menor consumo de energia e maior eficiência na utilização da energia disponível.

Exemplificando os desdobramentos do programa e com o objetivo de combater a crise financeira mundial, o governo criou um significativo programa para a substituição de eletrodomésticos através da redução do Imposto sobre Produtos

Industrializados (IPI)¹⁸ sobre a linha de eletrodomésticos: fogões, geladeiras e máquinas de lavar, dentre outros. Os frutos podem ser evidenciados através do programa de reciclagem de componentes, visando também se coadunar com os sistemas de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL).

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA – LINHAS DE FINANCIAMENTO

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) oferece linhas de crédito para investimento em melhorias de processos, renovação ou substituição de equipamentos com vistas à eficiência energética.

As linhas e programas do BNDES possuem características específicas, destacando-se o apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO). Podem utilizar desta linha de financiamento as ESCOs e usuários finais de energia. Focos de atuação: iluminação, motores, otimização de processos, bombeamento, ar condicionado e ventilação, refrigeração e resfriamento, produção e distribuição de vapor, aquecimento, automação e controle, distribuição de energia e gerenciamento energético. São financiáveis: a) estudos e projetos; b) obras e instalações; c) máquinas e equipamentos; d) serviços técnicos especializados; e) sistemas de informação; f) monitoramento; e g) controle e fiscalização.

Existem vários tipos de financiamentos, com características diferentes, por exemplo:

- a) BNDES automático
- b) Financiamento de Máquinas e Equipamentos (FINAME)¹⁹
- c) Cartão BNDES

O Cartão BNDES particularmente financia equipamentos às micro, pequenas e médias empresas. Na lista dos equipamentos financiados, informam se são eficientes, incluindo o logo do Selo Procel (BNDES, 2009).

O principal agente financiador para eficiência energética esta na arrecadação das concessionárias de energia elétrica, que por força da Lei 9991/2000, tem que

¹⁸ O Decreto nº 6.996, de 30 de outubro de 2009, publicado na Edição Extra do DOU da mesma data, alterou a Tabela de Incidência do IPI para incluir Notas Complementares relativas à aplicação das alíquotas do IPI sobre produtos da chamada linha branca, objeto de tributação reduzida, a partir de 1º de novembro de 2009, com efeitos até 31.01.2010.

¹⁹ O FINAME é uma linha de crédito do BNDES.

investir 1% de suas Receitas Operacionais Líquidas (ROL) em programas de eficiência energética e em programas de pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico. A partir de 2006, ela determinou que o percentual para os programas de eficiência energética fosse reduzido para 0,25% e para os programas de pesquisa e desenvolvimento 0,75%. Contudo, considerando a importância da eficiência energética para a postergação de investimentos no setor elétrico, o aumento da competitividade no setor industrial, a redução com os dispêndios de eletricidade nos setores residencial, comercial e demais setores de consumo, além da preservação ambiental, está em andamento no Congresso Nacional a análise do retorno desses percentuais aos seus valores iniciais. As concessionárias de distribuição são, hoje, portanto, grandes financiadoras de projetos de eficiência energética e de pesquisa e desenvolvimento científico. Os programas de eficiência energética são analisados, aprovados, acompanhados e fiscalizados pela ANEEL.

Principais fontes de financiamento de projetos na área de eficiência energética:

- a) Banco do Brasil
 - Oferece programa específico para estimular a racionalização e a otimização do uso de energia.
- b) Banco Real
 - Banco que disponibiliza linhas de financiamento para projetos sócio ambientais, voltadas para empresas nacionais.
- c) BNDES
 - Oferece linhas de crédito para investimento em melhorias de processos, renovação ou substituição de equipamentos com vistas à eficiência energética, conforme listado anteriormente.
- d) PROESCO
 - As Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ESCOs) financiam parcial ou integralmente projetos de eficiência energética e são remuneradas com base no sucesso do projeto, através desta linha de financiamento.

Existem outros fundos de investimentos interessados em apoiar projetos de eficiência energética e energias renováveis em todo o mundo, as quais não citadas acima (ELETROBRÁS, 2009).

3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

Eficiência energética na área industrial para muitos é a substituição de motores elétricos antigos por novos de alto rendimento, pois as atividades fabris requerem, um motor robusto, de alta confiabilidade, boa eficiência, que reaja bem a variações de carga e com baixo custo. Estes equipamentos existem em praticamente todo o tipo de indústria: a) sistemas de bombeamento de líquidos; b) sistemas de compressão e ventilação. Existe uma grande diversificação do uso dos motores nos diversos segmentos industriais, tais como: a) setores de cimento, papel e celulose, químico, que têm grande número de bombas, compressores e ventiladores, assim como grandes esteiras transportadoras, moinhos, agitadores e peneiras; b) empresas cerâmicas possuem grandes misturadores, sopradores e muitas esteiras transportadoras; c) mineração, siderurgia e fabricação de metais em geral, além das bombas, compressores e ventiladores, têm também moinhos, transportadores em grande quantidade e máquinas específicas para atividades de laminação, por exemplo, para puxar, dobrar, cortar.

O motor elétrico que melhor tem se adaptado a estes serviços é o motor de indução trifásico, exigindo quase nenhuma manutenção, barato, tem poucas desvantagens: a) não varia a velocidade, quando se necessita desta funcionalidade; b) operação degradada em baixa carga (baixos rendimento e fator de potência); c) alta corrente de partida (GARCIA, 2003) Sendo assim, objetiva-se acelerar a penetração no mercado destes motores de alto rendimento. Destaca-se que o uso destes motores é uma alternativa bastante atraente do ponto de vista técnico-econômico, considerando que a redução das perdas técnicas implica em considerável redução da energia consumida ao longo da sua vida útil de 15 anos.

Para o início das regulamentações para cada equipamento consumidor de energia, o comitê gestor selecionou os motores elétricos de indução trifásicos. A escolha deste equipamento se deve ao significativo potencial de consumo de energia que representa na matriz energética de consumo, aproximadamente 30% do consumo total do país e 50% do consumo do setor industrial. Os motores elétricos foram os primeiros equipamentos a terem seus índices de rendimento estabelecidos pelo PBE, conduzido pelo INMETRO e PROCEL/Eletróbrás. Numa primeira etapa estes índices foram sugeridos aos fabricantes de forma voluntária, na segunda etapa, após a promulgação da Lei de conservação de energia e decreto de

regulamentação, deu-se início a segunda etapa, onde os índices estabelecidos passaram a ser compulsórios. Foram seguidos por outros equipamentos, tais como os eletrodomésticos, chamados de linha branca.

Existem muitas outras oportunidades de implementar eficiência energética na indústria, particularmente os motores elétricos por serem unidades compactas, e em grande quantidade, facilitam a implementação de boas práticas de eficiência pela simples substituição dos mesmos. Na prática isto não é tão simples, devido aos altos custos de substituição de todos os motores industriais de uma unidade em operação, devido ao alto custo do investimento na substituição dos mesmos. Esta vem sendo feito de forma gradual, à medida que os mesmos apresentem problemas de manutenção ou envelhecimento/repontecialização. Não existe, até o momento, um programa específico para aumento de eficiência energética para a substituição dos mesmos.

CAPÍTULO 4 PROJETOS DE SISTEMAS MOTRIZES INDUSTRIAIS

Um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo, conforme definição do *Guia PMBOK*[®] (PMI, 2004). Eles têm início, meio e fim. São motivados por uma demanda de mercado, necessidade organizacional, solicitação de cliente, avanço tecnológico ou requisito legal (alteração na legislação ambiental, por exemplo, que passa a exigir novas metodologias de controle antipoluentes).

Empreendimentos industriais requerem diversas fases para sua elaboração. No contexto de projetos industriais, podemos resumidamente citar:

- a) Projeto Conceitual – nesta etapa o empreendedor define seus objetivos motivados por uma oportunidade, necessidade ou inovação tecnológica e decide elaborar um projeto para avaliar seus conceitos e validar a oportunidade através de um EVTE simplificado, estudando a viabilidade desta oportunidade, buscando tecnologias e avaliando-a no conceito de negócio.
- b) Projeto Básico – Vencida a etapa do projeto conceitual, a próxima etapa é a do projeto básico, que irá definir as bases do futuro empreendimento. Um EVTE mais detalhado é o produto final do mesmo, bem como diversos documentos como o memorial descritivo de processo para o bom entendimento do empreendimento e avaliação e aprovação técnica e comercial do mesmo.
- c) Projeto de Detalhamento – Nesta etapa final do projeto, será definido toda a infra-estrutura e equipamentos necessários ao empreendimento, serão especificados e comprados todos os equipamentos e materiais necessários para que seja possível a montagem do empreendimento e posta em marcha da unidade industrial.

4.1 TIPOS DE PROJETOS INDUSTRIAIS

No Jargão da engenharia de projetos, classificam-se os projetos em duas categorias básicas, projetos *Green Field* e *Projetos Brown Field*.

Em ambos os casos, a utilização de motores elétricos apresenta um consumo considerável de energia elétrica, ou seja, aproximadamente 50% da energia despendida nestes projetos industriais. Motores estes para acionamentos de diversos sistemas de bombeamento, compressores industriais (sistemas de refrigeração), sistemas de sopragem para fornos, etc. A maximização do uso da energia elétrica nestes sistemas pode ser feita nos dois casos de tipos de projetos, através do emprego de inversores de frequência.

4.1.1 Projetos Green Field

Considera-se projeto *Green Field* aquele que parte do zero, sem instalações existentes. Comumente chamado de “terra arrasada”. Todo o projeto é executado a partir de nova infra-estrutura e equipamentos.

Quando tratamos de um projeto novo, na determinação de toda a infra-estrutura de bombeamento é considerado para efeitos de dimensionamento em sistema de transferência de líquidos um fator de tolerância para a vazão máxima e mínima, baseados na vazão normal de trabalho.

Os dados de vazão normal vêm das condições de operação do sistema de escoamento onde o controle irá atuar. No dimensionamento do sistema e seus equipamentos e acessórios, em geral são definidas as seguintes vazões:

a) Vazão normal

- É a vazão do caso mais freqüente de operação. Normalmente é obtida do balanço de materiais e energia em estado estacionário correspondente ao caso normal de projeto.

b) Vazão mínima e máxima

- São vazões que desviam da vazão normal de operação. Tais desvios incluem as operações normais de partida e parada, operações eventuais de operação, requisitos de controle, flexibilidade operacional e previsões de distúrbios nas condições de operação.

c) Vazão normal mínima e máxima

- Quando há mais que um caso de projeto, correspondente a processamentos de matérias primas diferentes ou elaboração de produtos diferentes, operação diferente da normal durante a partida, operação de regeneração em ciclos reação / regeneração, a vazão normal mínima corresponde a menor vazão e a vazão normal máxima corresponde à maior vazão em estado estacionário dos casos considerados.

d) Vazão de projeto do sistema

- É a vazão usada no dimensionamento do sistema, acomodando a vazão normal ou vazão normal máxima, transientes e folgas para cobrir incertezas no cálculo. Os transientes podem ser estimados, como por exemplo, esgotamento ou reposição do nível no fundo de uma coluna ou incluídos num fator (f_q), equação 1, denominado de fator de tolerância:

$$Q_{projeto} = f_q \times Q_{normal} \text{ ou } Q_{projeto} = f_q \times Q_{normal \text{ máxima}} \quad \dots(1)$$

A vazão de projeto do sistema corresponde à vazão nominal da bomba na terminologia de máquinas, sendo a vazão de seleção e garantia de desempenho da bomba.

Freqüentemente só se dispõe do balanço de massa do caso normal de operação e é usual, nesses casos, usar-se um fator para estimar a máxima e mínima. Valores estes que variam de 20% a 50% sobre a vazão máxima e 60% para a vazão mínima.

Esses fatores variam conforme o tipo da planta industrial e também dependem muito da experiência da empresa projetista com o processo e o sistema que está sendo projetando.

Todo sistema de bombeamento é dimensionado para operar nas condições de vazão máxima, o que não acontece nas condições de operação normal do sistema. Havendo um desperdício de no mínimo 20% de energia elétrica nos sistemas motrizes, para minimizar este problema, inversores de frequência poderiam ser instalados nos motores elétricos, de forma a usar sempre a energia necessária para o sistema, evitando desperdícios.

Em um sistema de controle de vazão típico, um sistema motriz de bombeamento opera a plena carga e uma válvula de controle faz a restrição à passagem do fluido para controlar o valor da variável medida igual ao valor ajustado para o processo. Normalmente estas válvulas atuam em 50% de sua faixa de operação, aumentando mais ainda a perda de energia do sistema elétrico. Ver Figura 4.

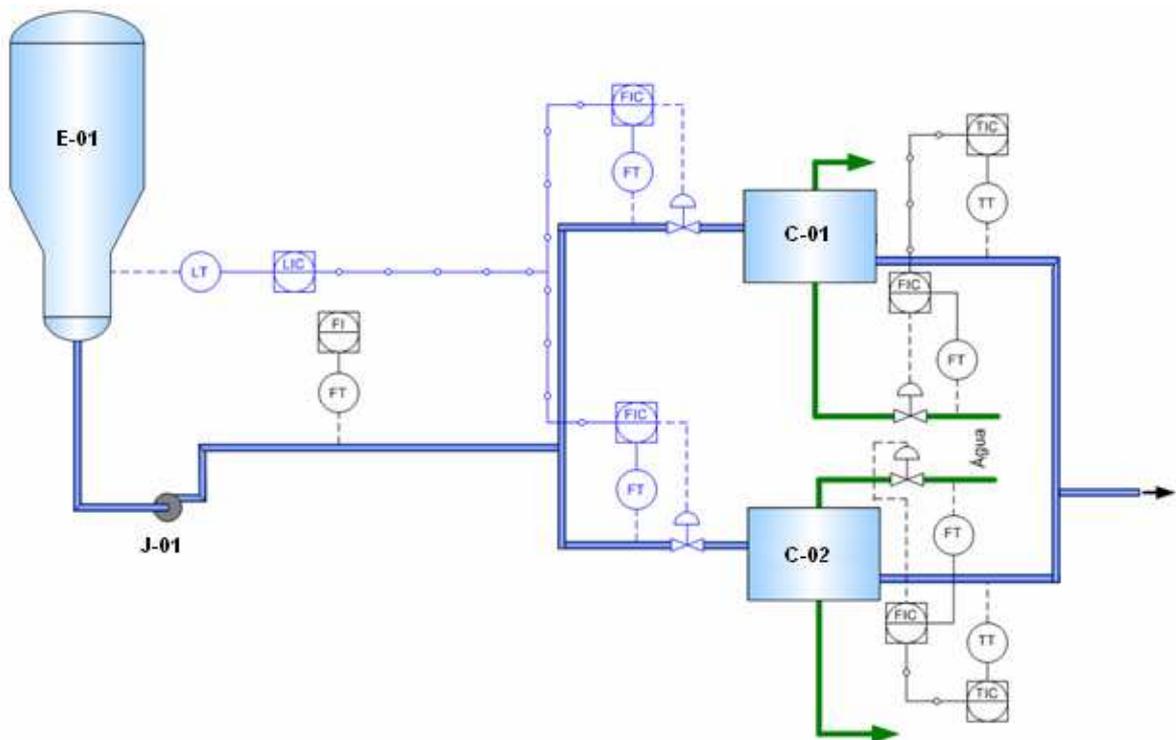


Figura 4 – Sistema de controle com válvula de controle
Nota: Elaboração própria.

De forma a poder manipular a variável de processo, é prática utilizar um dispositivo capaz de reduzir a área interna da tubulação, chamada de válvula de controle. Este equipamento é controlado por um sistema baseado num algoritmo matemático com ações de correção de Proporcional, Integral e Derivativo (PID) que busca incessantemente o valor ajustado de operação. Na prática, teremos um elemento primário de medição de vazão, Transmissor de Fluxo (FT), um sistema de bombeamento (bomba mais um acionador). Este pode ser uma turbina ou motor elétrico, dependendo das bases iniciais do projeto e finalmente uma válvula de controle. O controlador de vazão, denominado de Controlador de Fluxo (FC) irá fazer

o controle da vazão desejada. O sistema de bombeamento estará operando a plena carga e a válvula de controle irá reduzir a passagem do fluido de forma a garantir que a vazão ajustada no sistema de controle seja igual a vazão que está realmente passando pela tubulação, através da comparação destes dois valores, caberá a válvula de controle modular a restrição da passagem do fluido, até que este erro seja de zero. Ou não exista erro algum.

Neste sistema, temos uma considerável perda de energia, pois a bomba esta a plena carga e a válvula de controle esta reduzindo a capacidade de bombeamento da mesma. Aqui temos uma aplicação típica para inversores de frequência, o qual poderá substituir a válvula de controle e manipular a variável de processo conforme variação da rotação da bomba, sendo que a vazão ajustada pelo sistema PID será sempre proporcional a energia despendida pelo sistema motriz.

Em projetos *Green Field*, torna-se mais fácil a utilização de inversores de frequência na fase de projeto, pois nada foi comprado até o momento, bastando quebrar alguns paradigmas das empresas de engenharia e principalmente da empresa que irá executar o projeto conceitual e básico.

Com a utilização de inversores de frequência em sistemas motrizes de bombeamento, não haveria este desperdício energético sobre a energia necessária projetada para o sistema elétrico. O inversor somente despenderia a energia necessária para o motor elétrico bombear o volume de fluido necessário para a operação do sistema o qual, é ajustado automaticamente pelo algoritmo de controle, conforme Figura 5. Ainda, a potência do motor é proporcional ao cubo da velocidade da rotação, sendo assim, os ganhos não são lineares, são bem maiores que a simples comparação potência do motor contra vazão propelida.

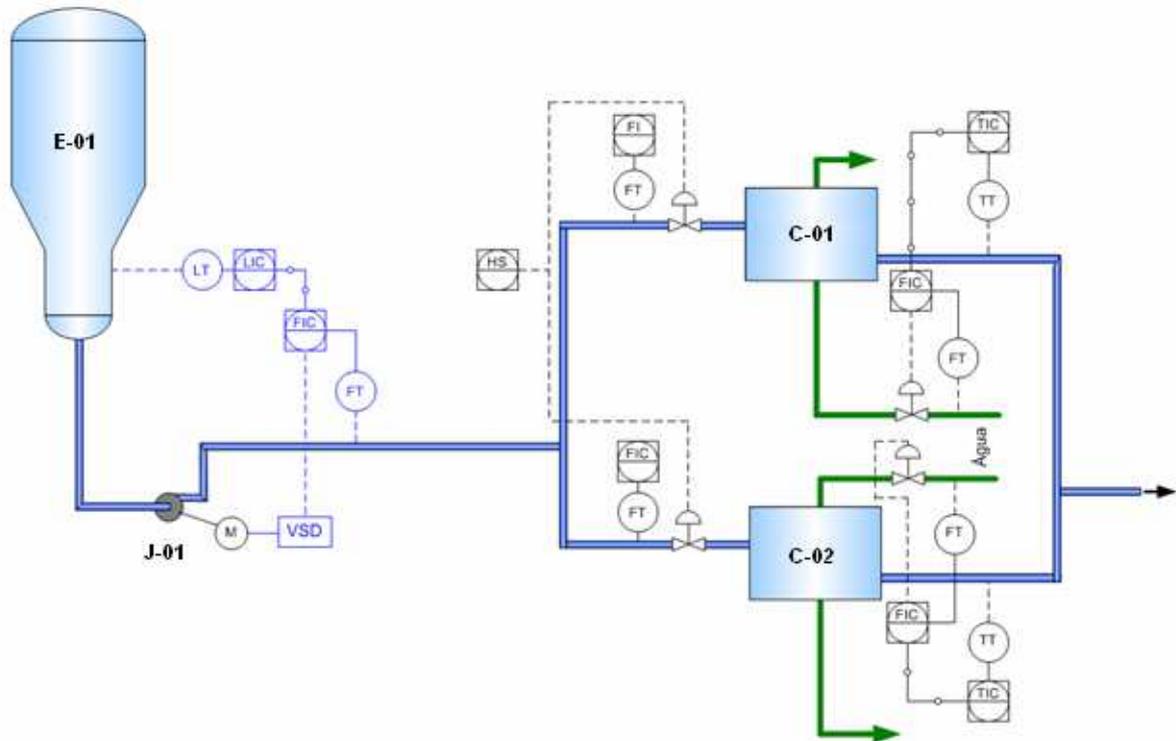


Figura 5 – Sistema de controle com inversor de frequência
Nota: Elaboração própria.

4.1.2 Projetos *Brown Field*

Ao contrário do anterior, se refere aos projetos executados em instalações existentes, já em operação. Onde são realizadas ampliações e ou modernizações de processamento industrial. Muito utilizado para repotencializar unidades fabris a partir de necessidades de mercado, ou adequar as novas classificações de segurança adequando as normas vigentes (normalmente novas que entram em vigor).

Em sistemas Brown Field também é possível aplicar inversores de frequência para aumentar a eficiência energética nos sistemas motrizes, o conceito explicado no item 4.1.1 sobre controle também se aplica neste tipo de projeto. Com algumas dificuldades e custos adicionais, pois o sistema já esta operando e com a implantação dos inversores e mudança no sistema de controle haverá um gasto adicional. Neste caso é preciso fazer uma análise detalhada do custo e da viabilidade do projeto.

Existem outras formas de conservar energia na indústria com a aplicação de inversores de frequência, principalmente em máquinas de grande consumo energético como compressores de grande porte, como citado anteriormente.

A seguir apresentaremos um estudo de caso de uma unidade industrial do ramo petrolífero para exemplificar o quanto estes sistemas podem contribuir para a conservação de energia elétrica em plantas industriais existentes.

4.1.3 Fundamentação Teórica do Estudo Energético

Os sistemas motrizes representam uma grande fatia do consumo energético das unidades industriais. Desta forma, a fonte de energia utilizada no acionamento de tais equipamentos deve ser avaliada criteriosamente, no intuito de garantir o melhor retorno operacional.

A disponibilidade, a capacidade e o custo de geração de cada fonte de energia, associados à análise da matriz energética da unidade resultam na escolha da fonte de energia mais adequada. Nos processos modernos, podem ser avaliadas a utilização de vapor ou de eletricidade como formas mais confiáveis de acionamentos de máquinas rotativas

Contudo, com o passar do tempo, a matriz energética da planta sofre alterações em função de perturbações de custos, envelhecimento ou disponibilidade de insumos para a produção da energia, fato que requer uma nova avaliação da adequação da fonte de energia.

O sistema que envolve uma turbina a vapor que aciona um sistema de compressão de Propano para geração de resfriamento para a unidade industrial não apresenta um bom aproveitamento da energia disponível. Grande parte da energia do vapor é perdida no condensador para a corrente de resfriamento. Sendo assim, este estudo se propõe a avaliar a substituição de um acionamento de turbina a vapor por um sistema que utilize eletricidade.

Outro ponto abordado no estudo energético é a eficiência de conversão de energia em movimento das máquinas motrizes. As turbinas possuem rendimento entre 30 e 80 por cento e sua implementação muitas vezes é viabilizada pela disponibilidade de fontes de calor excedentes na matriz energética da unidade. Os motores elétricos por outro lado, convertem energia elétrica em energia mecânica com eficiência de 80 a 98 por cento, sendo sua aplicação uma excelente alternativa para redução de consumo energético dos conjuntos motrizes.

Apesar da diferença de rendimento entre turbina a vapor e motor elétrico, a turbina a vapor é um equipamento mais versátil, sendo amplamente utilizada em termelétricas, propulsão marítima e indústrias de processos em geral.

A implantação de motores elétricos acionadores de cargas, como compressores, por exemplo, pode ser mais eficiente se associada a um dispositivo que permita a variação de sua velocidade de rotação de acordo com as demandas do processo. Desta forma, estes dispositivos (variadores de velocidade) são uma alternativa de controle mais eficientes em comparação aos sistemas com recirculação ou válvulas de restrição.

4.1.4 Motor Elétrico Síncrono

O ganho energético associado ao motor elétrico síncrono está ligado à sua característica de alto rendimento. O uso otimizado da energia elétrica por este tipo de motor possibilita menores perdas energéticas no processo de entrega da potência requerida pela carga. O aspecto construtivo do motor síncrono busca, exatamente, aproximar o máximo possível a potência de saída fornecida à carga da potência absorvida da rede elétrica pelo motor, proporcionando a redução das perdas energéticas associadas à conversão da energia elétrica em energia mecânica.

Diante do exposto, o motor síncrono passa a ser uma alternativa para acionar o compressor em questão. Este tipo de motor opera com uma velocidade de rotação constante sincronizada com a frequência da tensão elétrica alternada aplicada nos seus terminais. A velocidade síncrona do motor é definida pela velocidade de rotação do campo girante, a qual depende do número de pólos e da frequência da rede.

Durante a operação em regime normal de um motor síncrono, não há qualquer movimento relativo entre os pólos do rotor e o fluxo magnético do estator, resultando no perfeito sincronismo entre as partes. Deste modo, não há indução de tensão elétrica no rotor pelo fluxo mútuo nem há excitação proveniente da alimentação de corrente alternada.

Os motores síncronos necessitam de uma fonte de corrente contínua para alimentar o enrolamento do rotor (enrolamento de campo). A excitação em corrente contínua pode ser aplicada de duas formas:

- a) Excitatriz Estática (com escovas);
- b) Excitatriz *Brushless* (sem escovas).

Motores síncronos com excitatriz do tipo estática são constituídos de anéis coletores e escovas que possibilitam a alimentação de corrente contínua dos pólos do rotor através de contato deslizante. A corrente contínua para alimentação dos pólos deve ser proveniente de um retificador e controlador estático CA/CC. A Figura 6 apresenta um esquema da excitatriz estática.

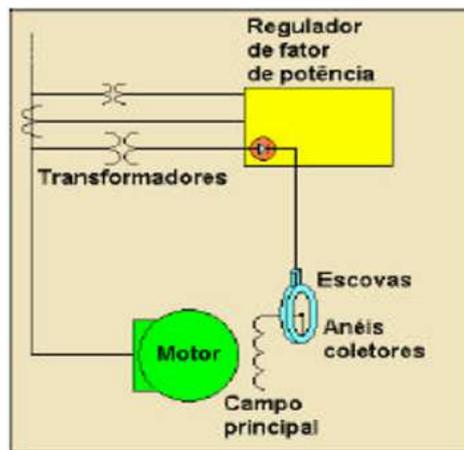


Figura 6 – Esquemático da Excitatriz Estática
Fonte: Weg Máquinas (2003).

Motores síncronos com sistema de excitação *brushless* possuem uma excitatriz girante, normalmente localizada em um compartimento na parte traseira do motor. Dependendo da operação do motor, a excitatriz pode ser construída de duas formas:

- a) Excitatriz com alimentação de corrente contínua no estator;
- b) Excitatriz com alimentação de corrente alternada no estator.

O rotor da excitatriz alimenta o enrolamento da excitação do motor, através de uma ponte retificadora trifásica girante. A Figura 7 apresenta um esquema da excitatriz *brushless*.

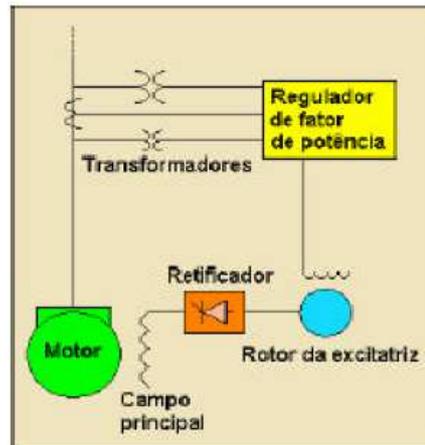


Figura 7 – Esquemático da Excitatriz *Brushless*
 Fonte: Weg Máquinas (2003).

Convém destacar que os recentes desenvolvimentos em rotores com ímãs permanentes têm eliminado a necessidade de circuitos de excitação. Seguindo as tendências de mercado, o uso de motores síncronos de ímãs permanentes se encontra em ampla expansão. Este tipo de motor possui alto rendimento, baixo nível de vibração e ruído, torque suave e ampla faixa de rotação com torque constante.

O motor síncrono possui características especiais de partida. A combinação de alto conjugado com baixa corrente de partida pode ser alcançada sem afetar as características de funcionamento em regime. Os métodos de partida disponíveis para o motor elétrico síncrono são:

- a) Partida assíncrona (partida própria, pela ação de enrolamentos de indução auxiliar);
- b) Emprego de motor de lançamento auxiliar;
- c) Partida com tensão reduzida (por meio de auto-transformador de partida, reator ou resistência em série);
- d) Inversor de frequência.

4.1.5 Inversor de Frequência

A eficiência energética associada ao uso do Inversor de frequência está atrelada à busca constante pelo melhor regime operacional. Com o objetivo de adequar o controle da vazão de propano fornecido pelo compressor, o inversor de

freqüência é uma alternativa eficaz, visto que controla a rotação do motor elétrico e possibilita a operação da máquina no ponto ótimo do sistema, reduzindo possíveis perdas de energia.

O Inversor de freqüência é um dispositivo capaz de variar a amplitude e a freqüência da tensão de alimentação do motor elétrico. Desta forma, é possível controlar o regime de funcionamento do motor através de variáveis como a velocidade do seu eixo e o torque mecânico entregue à carga.

O uso deste dispositivo pode trazer vantagens adicionais como redução da corrente de partida do motor, diminuição do ruído, além de melhora no fator de potência. O processo também é beneficiado na medida em que pode agregar ganhos ao seu controle e na qualidade da produção.

Embora o uso de Inversores represente uma boa economia de energia, alguns fatores devem ser levados em consideração na instalação desses equipamentos:

a) Introdução de componentes harmônicas na corrente elétrica

O processo de conversão de freqüência adiciona componentes harmônicas prejudiciais ao funcionamento de outros equipamentos da rede elétrica. A IEEE-519 estabelece que a distorção harmônica total (THD) na rede, para aplicações normais, não deve exceder 5% para tensões abaixo de 69 kV. Deste modo, deve ser considerada na especificação de Inversores uma solução que atenda às recomendações desta norma.

Estudos de THD realizados pela Siemens na construção dos seus Inversores de freqüência sinalizam que o conjugado disponível do motor decresce com o aumento de harmônicos na rede elétrica. O Gráfico 4 relaciona o conjugado disponível com a THD da rede. Conforme pode ser observado, a partir de cerca de 3% de THD o motor não consegue mais disponibilizar todo o conjugado nominal. Assim, Inversores de freqüência de maior número de pulsos são mais recomendados, pois reduzem o THD e minimizam as perdas de potência nos motores.

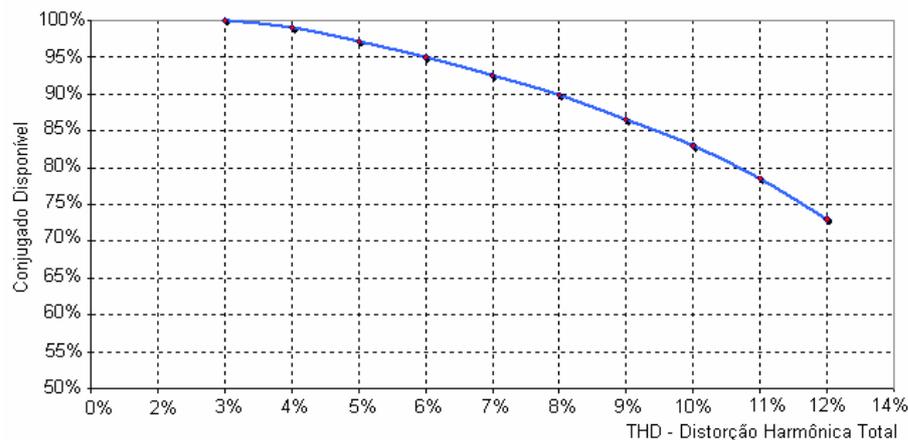


Gráfico 4 – Redução do Conjugado x Harmônicos de Tensão
Fonte: Siemens (2007).

Algumas soluções existentes têm obtido êxito no tratamento das harmônicas, como o uso de transformadores de isolamento e filtros de tratamento de harmônicas²⁰.

b) Modificação do modo de operação normal do motor

Os motores são equipamentos projetados para operar na frequência da rede (60Hz) a partir de uma excitação senoidal. Entretanto, os Inversores de frequência que utilizam modulação PWM impõem ao motor uma corrente pulsante, semelhante à senoidal, numa frequência variável, definida conforme a rotação desejada do motor. Essas modificações provocadas pelo uso de Inversor de frequência implicam em algumas conseqüências consideráveis para o motor. São elas:

c) Ventilação dos motores em frequências muito baixas

Quanto menor a velocidade de rotação do motor, menor será a rotação de sua ventoinha, dificultando a dispersão do calor produzido no equipamento, elevando a temperatura do mesmo. Deste modo, é importante prever, para sistemas que operem constantemente a baixas rotações, um sistema de ventilação independente para o motor.

d) Ressonância Mecânica

A frequência de chaveamento dos semicondutores dos Inversores determina a periodicidade de alteração do valor de corrente fornecida ao motor e, por conseguinte, o torque no mesmo. Alguns Inversores permitem abruptas variações de corrente neste curto período, ocasionando uma considerável diferença de torque e, portanto, vibrações no motor. Quando essa frequência corresponde à frequência

²⁰ Embora os filtros não eliminem as harmônicas, eles atenuam estas componentes.

natural do equipamento, essas vibrações se acentuam, ocasionando ruído e, em alguns casos, a quebra do equipamento. Deste modo, para aprimorar o uso desta solução devem ser especificados, preferencialmente, *drives* que forneçam à carga acionada uma forma de onda de corrente com variação mais suave.

e) Danos na isolação dos motores devido a picos de tensão

Devido à natureza pulsante da excitação elétrica fornecida pelo Inversor, ocorre no motor um fenômeno indesejado, a reflexão das ondas de tensão. Essa reflexão provoca sobreposição de ondas e ocasiona picos de tensão / corrente nas bobinas do motor.

O excesso de tensão provocado pode danificar a isolação das bobinas devido ao aquecimento, principalmente em motores antigos, despreparados, construtivamente, para operação por Inversor de frequência e, por conseguinte, mais sensíveis a este tipo de dano.

Em motores com alimentação maior que 500V deve ser previsto um filtro dV/dt na saída do Inversor para minimizar a sobreposição dessas ondas nos terminais do motor.

A robustez do isolamento dos motores é baseada na diferença da classe de isolamento para a classe de elevação de temperatura, ver Quadro 3. Motores aptos para uso com Inversor de frequência devem possuir, no mínimo, isolamento classe F com elevação nominal de temperatura classe B.

O Quadro 3 mostra elevação de temperatura suportado no ponto mais quente do motor, acima da temperatura ambiente.

Classe	ΔT Suportado
A	60°C
E	75°C
B	80°C
F	105°C
H	125°C

Quadro 3 – Elevação de Temperatura Suportada em Função da Classe de Isolamento de Motores

Fonte: Siemens (2005).

No caso de operação com Inversor de freqüência é recomendável que a tensão de isolamento do motor seja superior à tensão nominal de operação.

f) Desgaste do mancal de rolamento do motor

Motores operados por Inversor de freqüência precisam escoar correntes parasitas induzidas no ferro do rotor. Entretanto, o único caminho de escoamento para essas correntes é pelo mancal do rolamento, o qual não foi projetado para operar suportando continuamente o fluxo deste tipo de corrente. Esse fato implica em desgaste no mancal, perda de torque no motor e um maior desgaste do mesmo, o que reduz a sua vida útil. Assim, motores operados com Inversor de freqüência devem possuir um mancal especial, revestido com proteção adequada, para impedir o escoamento das correntes parasitas pelo rolamento.

4.1.6 Soft-starter

O *soft-starter* é um equipamento capaz de controlar a potência do motor elétrico no instante de partida e frenagem da máquina. A aplicação principal do *soft-starter* é controlar a corrente de partida do motor, proporcionando uma “partida suave”. Este controle evita quedas de tensão elétrica bruscas na rede de alimentação, como ocorre em partidas diretas de grandes motores. O Gráfico 5 apresenta o comparativo entre os métodos mais usuais de partida.

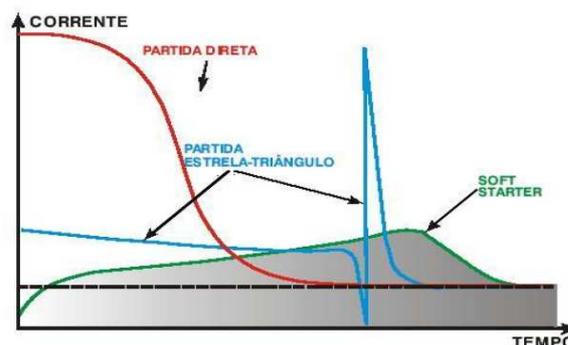


Gráfico 5 – Comparativo entre Métodos de Partida
Fonte: Rosa (2003).

As chaves *soft-starters* contribuem para a redução dos esforços sobre acoplamentos e dispositivos de transmissão durante as partidas e para o aumento da vida útil do motor e equipamentos mecânicos da máquina acionada, devido à

eliminação de choques mecânicos. Também contribui para a economia de energia, sendo muito utilizada em sistemas de refrigeração e em bombeamento.

Algumas características e vantagens das chaves *soft-starters* são:

- a) Ajuste da tensão de partida por um tempo pré-definido;
- b) Pulso de tensão na partida para cargas com alto conjugado de partida;
- c) Redução rápida de tensão a um nível ajustável (redução de choques hidráulicos em sistemas de bombeamento);
- d) Proteção contra falta de fase, sobrecorrente e subcorrente.

4.1.7 Turbo-multiplicador

Turbo-multiplicador é um dispositivo mecânico que reduz ou aumenta a rotação de um acionador a uma relação de transmissão fixa. Seus principais componentes são basicamente: eixos de entrada e saída, rolamentos, engrenagens e carcaça.

Este tipo de dispositivo é utilizado quando é necessária a adequação da rotação do acionador para a rotação requerida no dispositivo a ser acionado. Existem diversos meios de ajustar a rotação do acionador para a rotação do componente acionado, sendo o meio mais comum a utilização do turbo-multiplicador, cujas engrenagens podem ser cilíndricas ou cônicas. Pode-se ainda utilizar o sistema coroa e rosca sem fim. A Figura 8 apresenta a ilustração de um turbo-multiplicador.



Figura 8 – Turbo-multiplicador
Fonte: Voith Turbo (2009).

4.1.8 Hydraulic Variable Speed Drive (HVSD)

O HVSD ou variador hidráulico, assim como o Inversor de frequência, também é uma alternativa para o controle da rotação do acionamento, com conseqüente variação da vazão de propano, no caso específico deste estudo. O HVSD através de mecanismos internos, seria responsável pela alteração da rotação do compressor. Este equipamento ficaria instalado entre o motor elétrico e a carga acionada. A Figura 9 apresenta um corte transversal da estrutura de um HVSD.

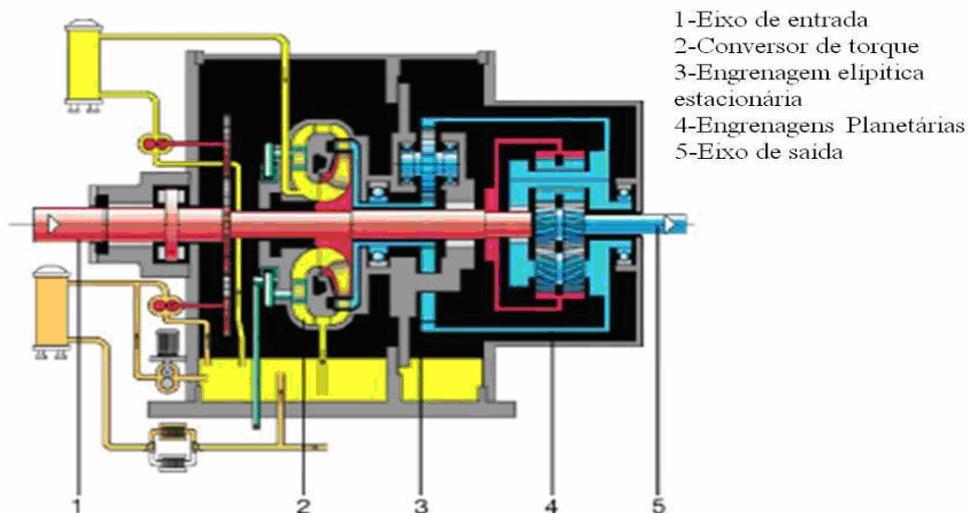


Figura 9 – Representação Esquemática do Variador Hidráulico
Fonte: Voith Turbo (2009).

A operação do HVSD é baseada no princípio da distribuição da potência, conforme a Figura 10. A maior parcela de torque é transmitida, mecanicamente, através do eixo principal e da engrenagem planetária rotativa.

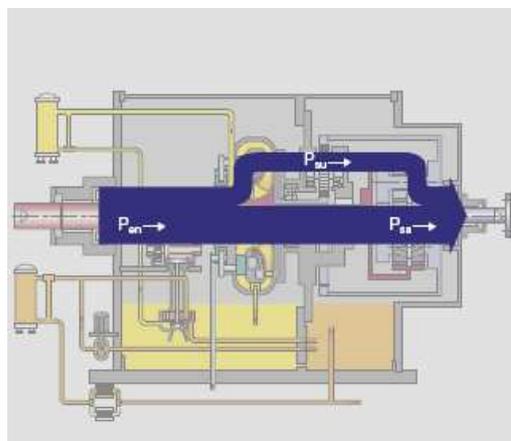


Figura 10 – Distribuição da Potência
Fonte: Voith Turbo (2009).

Somente a potência necessária para ajustar a rotação da máquina acionada é desviada do eixo principal pelo Inversor de torque, onde, nas engrenagens planetárias, ocorre a superposição e, por conseqüência, a variação da rotação, conforme ilustrado na Figura 11.

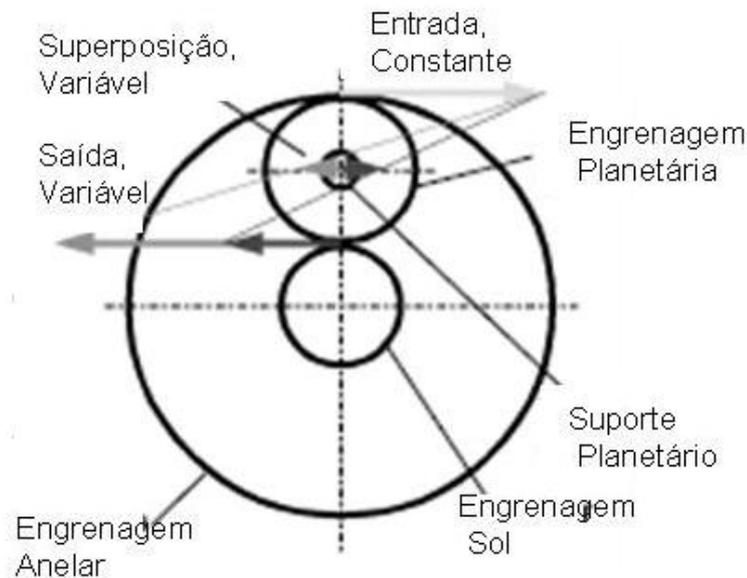


Figura 11 – Cálculo Vetorial nas Engrenagens
Fonte: Voith Turbo (2009).

4.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ATUAL

O projeto em questão trata da avaliação da substituição de uma turbina de acionamento de um sistema de compressão industrial de uma unidade de refino de petróleo por um motor elétrico. Esta troca requer uma análise ampla do acionamento atual do compressor, assim como do sistema elétrico existente para alimentação do novo motor, a fim de garantir o sucesso do estudo. Sendo assim, a seguir será apresentada a descrição do sistema atual, com detalhes do seu funcionamento e eficiência, além da análise dos possíveis impactos decorrentes da implantação do sistema proposto.

4.2.1 Processo de Desparafinação e Desoleificação

Nesta unidade existe um sistema de refrigeração necessário às baixas temperaturas do processo. Este compressor é responsável pela circulação do Propano utilizado para este resfriamento.

O compressor é do tipo centrífugo composto de seis estágios de compressão, com capacidade para aproximadamente 78.000 Nm³/h de propano.

A unidade opera com duas campanhas distintas que demandam rotações diferentes do conjunto turbina – compressor. A campanha de desparafinação é responsável por aproximadamente 90% do tempo de operação do sistema motriz, no qual são atingidas velocidades em torno de 6300 rpm. Os outros 10% do funcionamento do sistema é dedicado a campanha de desoleificação, onde é requerida uma rotação por volta de 5200 rpm. As adaptações necessárias para adequar os equipamentos aos diferentes regimes de operação são ajustadas manualmente pela operação da unidade.

4.2.2 Acionamento do Compressor

O acionamento do compressor é realizado por uma turbina a vapor. Este equipamento é alimentado por uma linha de vapor superaquecido a aproximadamente 385°C²¹ a 40bar²². Essa energia é utilizada para fornecer a potência exigida no eixo do compressor.

4.2.3 Análise de potência

Um fator importante no estudo para substituição da turbina é o entendimento do sistema atual e a compreensão do seu consumo de energia. O conhecimento da potência no eixo do compressor permite estimar o consumo de energia necessário para a substituição da turbina por um motor elétrico.

O cálculo da potência pode ser realizado pela estimativa da energia cedida pelo vapor para a realização de trabalho na turbina.

4.2.3.1 Potência do vapor

Esta metodologia tem como objetivo encontrar a potência de eixo do compressor, por meio da análise da energia cedida pelo vapor à turbina.

²¹ Essa temperatura é referente ao projeto turbina.

²² Essa pressão é referente ao projeto da turbina.

A energia cedida pelo vapor, também chamada de trabalho específico, é obtida pela variação de entalpia do vapor entre a entrada e saída da turbina, calculada conforme a Equação 2, Trabalho Específico.

$$w = h_e - h_s \quad \dots(2)$$

Onde:

- w : Trabalho específico (kJ/kg)
- h_e : Entalpia de entrada do vapor na turbina (kJ/kg)
- h_s : Entalpia de saída do vapor na turbina (kJ/kg)

O vapor, por ser uma substância simples, pode ter sua entalpia calculada como uma função de duas variáveis termodinâmicas independentes, como por exemplo: temperatura e pressão. O vapor de entrada da turbina encontra-se em estado superaquecido para evitar condensação na turbina, motivo pelo qual a sua temperatura e pressão foram escolhidas para determinar sua entalpia (vide equação 3²³).

$$h_e = f(p, T) \quad \dots(3)$$

Cálculo de Entalpia de Entrada.

Onde:

- h_e : Entalpia de Entrada (kJ/kg)
- p : Pressão (bar A)
- T : Temperatura (°C)

Para o cálculo da entalpia do vapor de saída adotou-se uma estratégia diferente, para o cálculo da entalpia do vapor de saída, adotou-se a pressão e título²⁴ do vapor conforme a equação 4, pois na zona de saturação a temperatura e pressão passam a ser propriedades dependentes.

$$h_s = f(p, x) \quad \dots(4)$$

Cálculo de Entalpia de Saída.

²³ Essa equação é baseada nas publicações da *The International Association for the Properties of Water and Steam* (IAPWS) e, devido a sua complexidade, sua formulação não será abordada nesse estudo.

²⁴ O título é a relação entre a quantidade de vapor condensado em um determinado volume de vapor.

Onde:

- h_s : Entalpia de Saída (kJ/kg)
- x : Título do vapor (%)
- p : Pressão (bar A)

Para calcular a entalpia de saída, as informações de temperatura do vapor foram coletadas do histórico de informação de operação de uma máquina com mesma potência aproximada.

A partir da análise da documentação do fabricante da turbina, pode-se inferir a potência desenvolvida em função das condições de entrada e saída do vapor, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros da turbina

Q kg/h	Pe bar A	T °C	Ps bar A	P kW
25668,00	41,100	385,00	0,1013	5520,00
23430,24	41,100	385,00	0,1013	4912,00
23794,80	41,100	385,00	0,1013	5020,00
27922,00	41,100	385,00	0,1013	6070,00

Fonte: *Voith Turbo* (2009).

Com base nas informações de projeto da turbina, a estimativa do título pode ser elaborada conforme a equação 5.

$$P = (h_e(T_e, p_e) - h_s(x_s, p_s)) \cdot Q \quad \dots(5)$$

Cálculo para estimativa do título de projeto da turbina.

Onde:

- P : Potência desenvolvida pela turbina (kW)
- h_e : Entalpia de entrada em função da pressão e temperatura de entrada (kJ/kg)
- h_s : Entalpia de saída em função da pressão e título de saída (kJ/kg)
- Q : Vazão de vapor (kg/s)
- T_e : Temperatura de entrada do vapor
- p_e : Pressão de entrada do vapor
- x_s : Título do vapor na saída da turbina

- p_s : Pressão de vapor na saída da turbina

Devido à complexidade para isolar a variável título, para resolver a equação 5 foi adotada uma metodologia iterativa de aproximações sucessivas, com alteração de valor do título até a obtenção do valor da potência desejada. Como resultado dessa abordagem, é possível verificar na Tabela 2 que o valor médio do título está próximo a **92,50%**.

Tabela 2 – Estimativa do Título em função da potência desenvolvida pela turbina

Potência (kW)	Título (%)
5520,00	92,40%
4912,00	93,20%
5020,00	93,00%
6070,00	92,00%

Fonte: Voith Turbo (2009).

Com o valor título estimado, o cálculo do trabalho específico desta turbina, foi realizada como base as informações históricas do vapor no período de 1 ano (2008²⁵), cujos valores obtidos são os seguintes:

- Temperatura de entrada = 377,02 °C
- Temperatura de Saída²⁶ = 64,92 °C
- Pressão de entrada = 40,80 kgf/cm² G

Portanto considerando essas condições do vapor na entrada e saída da turbina (considerando um título de 92% na saída da turbina) os seguintes valores para entalpia e trabalho específico são obtidos:

- h_e : Entalpia de entrada da turbina = 3157,57 kJ/kg
- h_s : Entalpia de saída da turbina = 2445,24 kJ/kg
- w : Trabalho específico = 712,71 kJ/kg

²⁵ As amostras cuja rotação do compressor eram menor que 3300 rpm foram desconsideradas, esse valor considera que a rotação crítica do compressor é de 3239 rpm.

²⁶ Devido à falta de medição de temperatura ou pressão na descarga da turbina, foi utilizada a temperatura do condensado como referência para a temperatura de saída da turbina. Essa abordagem considera que a única energia transferida para a corrente de resfriamento é a energia de condensação do vapor.

Com o valor do trabalho específico, a potência cedida pelo vapor pode ser calculada através da equação 6, no qual a informação da vazão de vapor é utilizada para estimar a quantidade de trabalho cedida por unidade de tempo.

$$P_c = Q \cdot w \quad \dots(6)$$

Cálculo da Potência Cedida.

Onde:

- P_c : Potência cedida pelo vapor (kW)
- Q : Vazão de vapor (kg/s)

Coletando as vazões médias históricas de vapor para a turbina no período de um ano, o valor da potência demandada calculada pela equação 6 é a seguinte:

- Vazão de vapor = 7,80 kg/s
- Potência média demandada = 5555,93 kW

Finalmente a potência média de eixo do compressor pode ser obtida em função da potência média demandada. Essa conversão entre as potências está relacionada com o rendimento mecânico da turbina, considerando as perdas por atrito e as perdas nos mancais, dentre outras.

Portanto, estimando um rendimento mecânico de 98%²⁷, o cálculo da potência de eixo do compressor pode ser calculado conforme a equação 7.

$$P_e = P_c \cdot \eta_{mt} \quad \dots(7)$$

Potência de Eixo entregue pela Turbina.

Onde:

- P_e : Potência de eixo do compressor
- P_c : Potência cedida pelo vapor
- η_{mt} : Eficiência mecânica da turbina

Efetuada as substituições das variáveis por números, a potência média entregue ao eixo do compressor é a seguinte:

- Potência de eixo do compressor = **5.500 kW**

²⁷ Eficiência calculada a partir da especificação de um compressor similar

Considerando uma utilização plena anual (8.322 hs), teremos um consumo de aproximadamente **45.000,00 MWh**, para esta aplicação. Paradas para manutenção, em torno de 5% do tempo de operação não estão consideradas neste cálculo.

4.2.3.2 Sistema Elétrico

O sistema elétrico torna-se importante na avaliação do empreendimento, uma vez que o escopo do projeto prevê a substituição da fonte energética utilizada para acionamento do compressor de propano. A subestação que atende a unidade deve ser avaliada de forma a garantir que exista sobra de potência para a nova instalação.

4.2.3.3 Problemas de Operação com sistema atual

Uma das dificuldades operacionais associadas ao acionamento existente são as intervenções de manutenção relacionadas ao sistema de vapor. Existe a necessidade da realização de paradas para a lavagem da turbina, dentre outros problemas ligados a qualidade do vapor.

4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

A escolha da fonte energética utilizada para acionamento de uma carga está muito relacionada à sua disponibilidade na matriz energética da refinaria na etapa das definições do projeto conceitual. Nesta etapa é realizado um balanço entre as cargas e as fontes de calor resultantes de processos, de maneira a maximizar as oportunidades de co-geração.

A opção por um acionamento a vapor ou elétrico também está atrelada a questões de confiabilidade. Os motores são dispositivos eletro-mecânicos, ao passo de que a turbina é um equipamento meramente mecânico, fato que a levaria, teoricamente, a apresentar pontos de falha mais restritos.

Vale ressaltar que confiabilidade atribuída a um equipamento, nem sempre é um parâmetro concreto, e está, muitas vezes, relacionada às experiências, expectativas e conhecimentos da equipe operacional. Se há uma unidade na qual o fornecimento de energia elétrica apresenta muitas interrupções, provavelmente a

turbina será o acionamento escolhido. Por outro lado, se a qualidade do vapor é questionável, a preferência será do motor.

A escolha do equipamento também pode estar relacionada à segurança da equipe com relação a sua operação, suas experiências práticas e nível de treinamento. Além disto, limitações técnicas como inexistência de encaminhamento para passagem de cabos ou impossibilidade da instalação de uma linha de vapor podem ser mandatórias durante este processo de análise. Podem, ainda, existir limitações tecnológicas que definam o tipo de acionamento como o torque de partida, a potência requerida e a velocidade de rotação.

Com o passar do tempo, os processos mudam suas características, tecnologias são desenvolvidas e novas experiências são vividas no ambiente operacional. Todos estes fatores contribuem para que as condições avaliadas durante o projeto de um acionamento sejam completamente distintas das características existentes no cenário atual.

Uma vez que este estudo propõe tornar o processo de Desparafinação existente na Unidade mais eficiente do ponto de vista energético, a substituição da turbina a vapor por um motor elétrico se mostra uma solução completamente pertinente e atrativa.

Temos que considerar ainda problemas relacionados à disponibilidade e à qualidade do vapor da unidade, tornando necessárias intervenções de manutenção excessivas. Sendo a proposta de substituição da turbina a vapor bastante viável pois apresenta maior facilidade operacional e menor manutenção ao longo da vida útil do mesmo. As máquinas elétricas podem apresentar altíssima eficiência na conversão da energia elétrica em energia mecânica, sendo a diferença entre as potências de entrada e de saída do motor dadas pelas perdas internas nos dispositivos do sistema.

O rendimento do motor é a relação entre a potência mecânica disponível no seu eixo pela potência elétrica consumida. Uma vez que o rendimento dos motores mais modernos está acima de 95% para a maior parte da faixa de operação, podemos dizer que apenas 5% da energia entregue a um motor elétrico é dissipada. No sistema atual que envolve a turbina a vapor, apenas 25% da energia do vapor é aproveitada para o processo.

Na realidade, para uma análise consistente da eficiência do acionamento elétrico, não basta a consideração do rendimento do motor, devem ser levados em conta todos os dispositivos que possam acarretar em perdas de rendimento no conjunto motriz.

Primeiramente, deverá ser escolhido o tipo de motor que será utilizado, além da consideração de seus rendimentos nos pontos de operação distintos impostos pela carga. Também deverá ser levada em conta a necessidade de utilização de um acoplamento através de um turbo-multiplicador, que apesar de adequar a rotação do motor à rotação nominal do compressor, inevitavelmente, irá inserir perdas mecânicas ao sistema.

Para que o motor elétrico substitua a turbina da forma mais eficiente possível, também deverá ser avaliada a estratégia de controle de capacidade do processo. O conjunto motriz deve ser associado a algum tipo de dispositivo de variação de vazão que permita poupar energia. Caso contrário, irá operar a plena carga durante todo o tempo, desenvolvendo a sua potência máxima de trabalho, mesmo que a carga não demande este regime de operação.

Considerando estes requisitos, o projeto de substituição da turbina a vapor deverá avaliar as seguintes propostas de implementação:

- a) Motor elétrico síncrono com Inversor de frequência;
- b) Motor elétrico síncrono e HVSD;

O motor proposto em todas as soluções é do tipo síncrono e deverá atender à carga solicitada pelo compressor de propano, portanto sua potência nominal será da ordem de 6MW. Os motores síncronos são, tipicamente, considerados para aplicações de maior potência (acima de 5MW), principalmente por apresentarem maior rendimento e dimensões reduzidas com relação aos motores de indução.

Um motor deste porte deve apresentar uma baixa velocidade de rotação, desta forma sua operação será mais estável e estará submetida a um menor esforço mecânico, implicando em reduzidos custos de manutenção. Neste caso, a adequação da rotação do motor à rotação requerida pela carga, deverá ser realizada por meio da instalação de um turbo-multiplicador.

4.3.1 Implantação de motor síncrono com Inversor de frequência

Para a realização do controle da vazão de propano, será necessária a instalação de um Inversor de frequência em substituição ao governador existente. O objetivo principal deste dispositivo é variar a rotação do motor, aplicando tensões de amplitudes e frequências variadas. Com a utilização do Inversor de frequência, o conjunto motor-compressor irá operar no ponto ótimo do sistema, onde as perdas energéticas são reduzidas e a melhor eficiência é alcançada.

Para controlar a quantidade de propano necessária e garantir flexibilidade ao processo, o novo sistema de alteração de capacidade deverá manter as mesmas características de alteração de carga. Portanto, para manter o controle de pressão inalterado, o controlador passará a enviar seu comando para o Inversor de frequência que irá alterar a rotação do motor elétrico, reduzindo ou aumentando a quantidade de propano fornecida. A Figura 12 apresenta um desenho esquemático do sistema proposto.

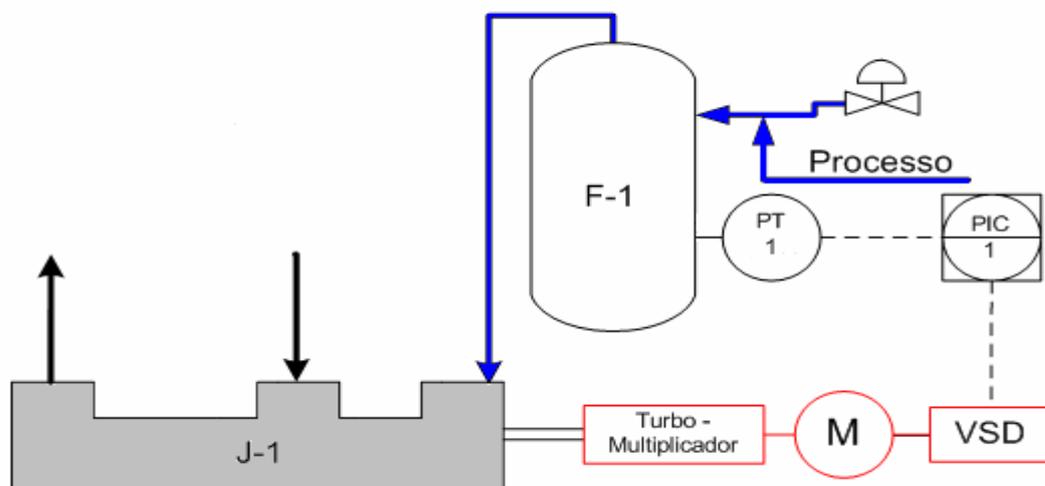


Figura 12 – Esquemático da Solução 1
Nota: Elaboração própria.

A regulação eletrônica da velocidade resultará em uma redução nas intervenções de manutenção, já que ocasionará menor impacto mecânico no motor, rolamentos e eixos. Desta forma, a vida operacional da máquina poderá ser prolongada e o tempo de parada minimizado. Além disso, esta regulação possibilita uma partida suave do motor síncrono, evitando grandes impactos na rede de alimentação.

4.3.2 Implantação de motor síncron e HVSD

Nesta solução, será considerada a utilização do HVSD para o controle da vazão de propano. A variação da rotação é o método mais eficiente de controle de capacidade de um compressor centrífugo. Desta forma, o HVSD regula sua rotação, por meio de ajustes mecânicos internos, sem modificar a rotação do motor, porém alterando a potência solicitada ao mesmo.

O HVSD permite a partida do motor em vazio, diminuindo o conjugado resistente e, conseqüentemente, reduzindo a corrente de partida. Mesmo em vazio, a partida direta de um motor deste porte demanda um sistema elétrico super dimensionado, além de ocasionar perturbações como quedas de tensão no restante da rede. Sendo assim, será necessária a adoção de um *soft starter* a fim de atenuar os efeitos da partida do motor elétrico.

Com a instalação do HVSD não será necessária a utilização de um turbomultiplicador para ajuste da rotação do motor à carga, já que o próprio HVSD possui um mecanismo interno que realiza esta função.

O sistema proposto para a solução 2 está representado na Figura 13, no qual a alteração de capacidade requisitada pelo controlador de pressão será executado pelo HVSD.

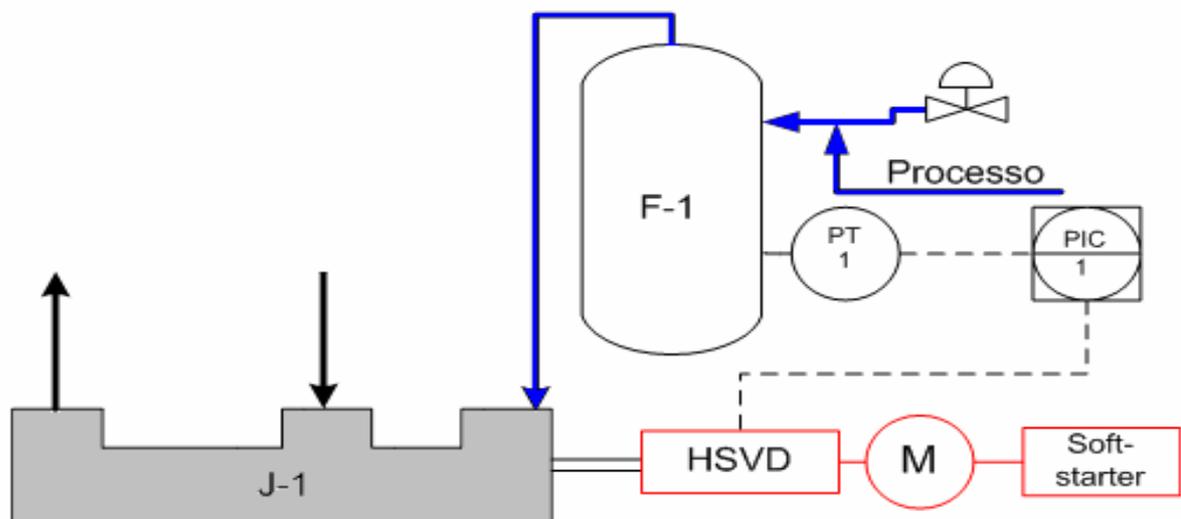


Figura 13 – Esquemático da Solução 2
Nota: Elaboração própria.

4.3.3 Eficiência das Soluções

Nos itens 1 e 2 foram apontadas soluções técnicas para o controle de capacidade do sistema. No entanto, o objetivo do projeto consiste na implantação de uma solução que proporcione um melhor aproveitamento dos recursos energéticos na Unidade. Sendo assim, deve ser realizada uma avaliação da eficiência de cada um dos sistemas descritos. No Quadro 4, são listados os equipamentos propostos para cada solução, que contribuirão para a inserção de perdas energéticas nos sistemas.

Solução 1	Solução 2
Motor Síncrono	Motor Síncrono
Turbo-multiplicador	HVSD
Inversor de Freqüência	Soft Starter
Transformador de Isolação	-

Quadro 4 – Lista de Equipamentos Propostos
Nota: Elaboração própria.

A eficiência de cada uma destas soluções dependerá, basicamente, do desempenho dos equipamentos listados acima. As eficiências do *soft-starter* associado, deve ser considerada, mesmo por se tratar de um dispositivo que atua somente na partida e na parada do sistema, mas é mais um componente passível de falha.

Para calcular a economia de energia gerada pela implantação das soluções, foi considerado que as estratégias de controle de capacidade propostas conseguirão reproduzir exatamente o mesmo regime operacional da turbina a vapor.

Diante desta consideração, é possível calcular a energia consumida pelas soluções propostas a partir da equação 8.

$$E = \sum \left(\frac{P \times t}{\eta_{motor} \times \eta_{eng} \times \eta_{controle}} \right) \quad \dots(8)$$

Energia Elétrica Consumida.

Onde:

- E: Energia elétrica consumida
- P: Valor extraído do perfil de carga traçado a partir do cálculo da potência de eixo com os dados históricos
- t: Intervalo de tempo percentual correspondente a cada faixa de operação do perfil de carga multiplicado pelo número de horas de operação no ano (8322h).
- η_{motor} : Estimativa de rendimento do motor síncrono fornecida por um fabricante nos pontos de operação de 25%, 50%, 75% e 100% da carga.
- η_{eng} : Estimativa de rendimento do turbo-multiplicador
- η_{controle} : Rendimento do sistema de controle de capacidade

4.3.3.1 Solução 1 – Inversor de Freqüência

Para o cálculo da energia consumida por esta solução, os rendimentos dos equipamentos envolvidos foram estimados da seguinte forma:

a) Rendimento do turbo-multiplicador

O rendimento do turbo-multiplicador, para todas as faixas de operação do acionamento, foi fornecido por um dos fabricantes deste tipo de equipamento.

b) Rendimentos do Inversor de Freqüência e do Transformador de Isolação

O fabricante de Inversores de freqüência consultado forneceu o rendimento do Inversor de freqüência e do transformador de isolação nos pontos de operação de 25%, 50%, 75% e 100% da carga. A partir destes dados, foram estimados os valores referentes aos demais carregamentos.

4.3.3.2 Solução 2 - HVSD

Para o cálculo da energia consumida por esta solução, os rendimentos dos equipamentos envolvidos foram estimados da seguinte forma:

O HVSD, por apresentar um rendimento muito distinto para pontos de operação abaixo do nominal, foi necessário a utilização de uma curva retirada do

catálogo do fornecedor, conforme Gráfico 6. Vale ressaltar que, como não é necessária a utilização de um redutor, o rendimento do mesmo foi considerado igual a 1 na Equação 8.

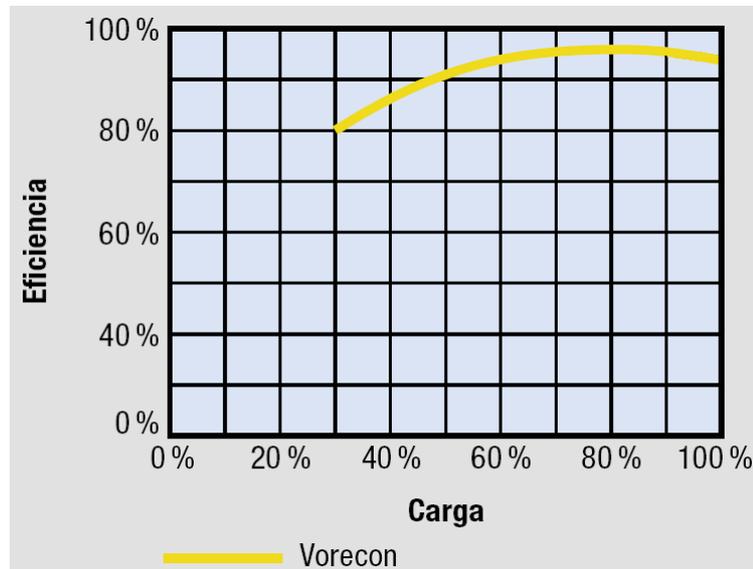


Gráfico 6 – Curva de Rendimento do HVSD
Fonte: Voith Turbo (2008).

4.3.3.3 Comparativo das Soluções

Com base no perfil de potência demandada no período de um ano e nos valores de rendimento apresentados foram calculados os valores da energia consumida por cada uma das oportunidades.

A Tabela 3 apresenta os valores de consumo energético para cada solução.

Tabela 3 – Consumos de Energia

Sistema	Consumo de Energia
Solução 1	48.087,82 MWh
Solução 2	47.939,95 MWh

Nota: Elaboração própria.

4.4 BASES DE PROJETO

Os requisitos apresentados neste capítulo, funcionais e não funcionais, são requisitos mínimos a serem considerados nas demais fases do empreendimento. As etapas de projeto básico e projeto executivo serão responsáveis, desta forma, pela consolidação e complementação dos requisitos de projeto, necessários para emissão de folhas de dados e especificações de equipamentos, materiais e serviços.

4.4.1 Motor Elétrico

O motor elétrico proposto por este empreendimento deve atender a carga requerida para o funcionamento do compressor, apresentando os requisitos mínimos de acordo com a norma ABNT NBR-5117 – Máquina Síncrona.

4.4.1.1 Requisitos Operacionais

O motor deverá operar sob as condições apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Requisitos Operacionais para o Motor Elétrico

Requisito	Solução
Potência Nominal	6 MW
Tensão Nominal	-
Fator de Serviço	1,0
Nº de Fases	3
Frequência Nominal	60 Hz

Nota: Elaboração própria.

A definição dos requisitos operacionais para o motor elétrico baseia-se nas considerações abaixo:

a) Potência nominal

A especificação da potência do motor elétrico terá como base a potência requerida pelo compressor. O motor projetado deverá ser capaz de atender a potência nominal de eixo do compressor. Sendo assim, a potência nominal do motor elétrico foi definida em 6 MW.

b) Tensão nominal

A refinaria possui diversos níveis de tensão padronizados em 480 V; 2,4 kV; 13,8 kV e 69 kV. No entanto, o nível de tensão mais adequado para a alimentação do motor deverá ser avaliado nas próximas etapas do projeto.

c) Fator de serviço

O motor elétrico deverá atender o regime de operação contínuo do compressor.

d) Local de instalação

O motor elétrico deverá possuir tratamento para as características ambientais encontradas no local de instalação. O novo equipamento deverá ser montado exatamente no local onde hoje se encontra a turbina a vapor.

4.4.1.2 Requisitos Funcionais

O motor a ser especificado por este projeto deverá atender aos seguintes requisitos funcionais:

- a) Acoplamento através de caixa de engrenagens, de forma a atender a rotação nominal do compressor que é de 6.470 rpm;
- b) Transmitir a potência requerida pelo compressor para bombeamento do ar;
- c) Ser acionado por variador de velocidade na rotação imposta pela corrente do Inversor de frequência, continuamente (solução 1);
- d) Ser acionado por *soft starter* no momento de partida e parada (solução 2).

4.4.1.3 Requisitos e Características do Equipamento

O motor deve ser apto para operar com o Inversor de frequência (solução 1) e com o *soft starter* (solução 2). Além disso, deverá atender aos requisitos da Tabela 5.

Tabela 5 – Requisitos e Características do Motor Elétrico (continua)

Requisito	Solução
Nº de Pólos	8
Dimensão (CxLxA)(*)	4000x3400x3500 mm

Requisito	Solução
Massa (**)	21500 kg
Classe de Isolamento	H
Grau Mínimo de Proteção	IP-54
Método de Refrigeração	Ar-água
Montagem	Horizontal

Notas: (*) Dimensão estimada pelo fornecedor (C – comprimento; L – largura; A – altura).
 (**) Massa estimada pelo fornecedor.
 Elaboração própria.

A definição dos requisitos e características do motor elétrico baseia-se nas considerações abaixo:

a) Número de pólos

É recomendado que este motor, devido a seu porte, apresente uma velocidade de rotação baixa. Assim, sua operação será mais estável e estará submetida a um menor esforço mecânico, implicando em reduzidos custos de manutenção.

Para rotações abaixo de 900 rpm, a utilização do redutor para adequação à velocidade da carga pode se tornar inviável. Sendo assim, nesta etapa do projeto, foi assumida a adoção de um motor de 8 pólos, no entanto, este parâmetro deverá ser avaliado criteriosamente nas próximas etapas do empreendimento.

b) Classe de isolamento

A classe de isolamento dos motores deve ser superior a folga considerada para a elevação de temperatura em função da classe de isolamento.

c) Grau mínimo de proteção

O grau de proteção IP-55 garante ao motor resistência a condições adversas do ambiente, tais como: presença de poeira e exposição a jatos d'água. Nas próximas etapas do projeto, deverá ser estudada a necessidade da adoção de um grau de proteção superior que contribua para a continuidade operacional do motor elétrico.

d) Método de refrigeração

A refrigeração utilizando apenas o ar não é aplicável para este tipo de motor devido a sua elevada potência. Para insuflar a quantidade de ar necessária para a refrigeração deste motor seria necessário um ventilador de dimensões muito grandes. Sendo assim, a utilização da água auxilia o processo de arrefecimento do equipamento, tornando o sistema muito mais compacto.

e) Montagem

O motor elétrico deverá obedecer à mesma configuração mecânica do acoplamento com o acionamento atual.

4.4.2 Inversor de Freqüência

O Inversor de freqüência apresentado na solução 1 proposto deverá ser capaz de atender à necessidade de potência do motor elétrico em toda a sua faixa de operação, além de apresentar os requisitos mínimos listados.

4.4.2.1 Requisitos Operacionais

O Inversor deverá operar sob as condições indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Requisitos Operacionais para o Inversor de Freqüência

Requisito	Solução
Potência Nominal	6 MW
Tensão Nominal	-
Nº de Fases	3
Freqüência de Operação	0 a 60 Hz

Nota: Elaboração própria.

A definição dos requisitos operacionais para o Inversor de freqüência baseia-se nas considerações abaixo:

a) Potência nominal

A especificação da potência do Inversor de freqüência terá como base a potência do motor elétrico. O motor projetado deverá ser capaz de atender a potência nominal de eixo do compressor. Sendo assim, a potência nominal do motor elétrico foi definida em 6 MW.

b) Tensão nominal

A tensão do Inversor de frequência deve ser compatível com a tensão de alimentação do motor elétrico.

4.4.2.2 Requisitos Funcionais

O Inversor de frequência deverá conter as seguintes funcionalidades:

- a) Realização do controle da rotação do motor elétrico com eficiência, de maneira que não seja necessário estrangular o fluxo por meio de válvulas de controle para ajuste da vazão do processo;
- b) O Inversor tem que ser capaz de atender à necessidade de potência solicitada pelo motor elétrico em toda a sua faixa de operação;
- c) O Inversor deverá ser capaz de evitar a produção de frequências de ressonância prejudiciais ao sistema;
- d) Capacidade de apresentar informações sobre as grandezas elétricas básicas dos motores (consumo, corrente, tensão, etc.) tanto localmente como remotamente, via comunicação, ao SDCD.

4.4.2.3 Requisitos e Características do Equipamento

O Inversor de frequência a ser instalado deve possuir, no mínimo, os requisitos apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Requisitos e Características do Inversor de Frequência

Requisito	Solução
Nº de Pulsos	24
THD Máxima	5%
Filtro de Saída dV/dt	Sim
Refrigeração	Água
Dimensão (CxLxA)(*)	1220 X 5000 X 2450 mm
Massa(**)	5000 kg

Notas: (*) Dimensão estimada pelo fornecedor (C – comprimento; L – largura; A – altura).
 (**) Massa estimada pelo fornecedor.
 Elaboração própria.

A definição dos requisitos e características do Inversor de frequência baseia-se nas considerações abaixo:

a) Número de pulsos

Esta quantidade de pulsos está sendo adotada com o objetivo de melhorar a qualidade da energia, reduzindo as distorções harmônicas geradas pela utilização do inversor de frequência. Conforme citado na seção 4.1.5, quanto maior a quantidade de pulsos, menor será o THD associado.

b) THD máxima

A distorção harmônica total de tensão, no ponto de conexão do inversor com o sistema, não deve ultrapassar o valor de 5% da onda de tensão fundamental, conforme o IEEE-519.

c) Filtro de saída dV/dt

A utilização do filtro minimiza a sobreposição de ondas nos terminais do motor (fenômeno da reflexão das ondas de tensão). Este fenômeno danifica o sistema de isolamento do motor elétrico, conforme citado na seção 4.1.5.

d) Sistema de alimentação com neutro aterrado através de resistência de aterramento

e) Montado em painel

f) Variação da tensão de alimentação (Norma IEEE-1566)

- Tolerância a afundamento de tensão

O Inversor de frequência deve operar e manter o controle do motor durante um afundamento de tensão que atinja 65% do valor nominal em uma ou mais fases do sistema trifásico para uma duração de 500ms.

- Tolerância para a perda de tensão

O Inversor de frequência deve suportar um sistema com 100% de perda de tensão em uma ou mais fases da alimentação de entrada por 2s ou mais, sem perder o controle da capacidade. Neste caso, o Inversor deve sair de operação e, mediante o restabelecimento da energia, ele deve ser capaz de reiniciar, reacelerando o motor até a sua velocidade original.

- Tolerância ao aumento da tensão

O Inversor de frequência deve operar continuamente durante um aumento da tensão trifásica para 115% do valor nominal em um período de 500ms.

4.5 OUTROS GANHOS DAS SOLUÇÕES

A substituição da turbina a vapor por um motor elétrico trará muito benefícios associados a uma economia na utilização do sistema de vapor e condensados da unidade. A complexidade da manutenção do sistema será bastante reduzida, uma vez que toda a tubulação e equipamentos como bombas e condensadores necessários para o acionamento da turbina serão substituídos por um sistema elétrico automatizado que poderá ser monitorado e controlado remotamente.

A desativação da turbina também representará uma maior disponibilidade de vapor na refinaria, este insumo poderá ser aproveitado em processos com maior eficiência térmica, agregando ainda mais rentabilidade aos processos da refinaria. Além disto, pode ser avaliada a desativação de alguma caldeira mais antiga ou que venha apresentando muitas ocorrências de manutenção, reduzindo assim o consumo de combustível interno da refinaria.

Além dos ganhos financeiros, devem ser avaliados os benefícios que a implantação do empreendimento trará ao meio-ambiente. A condensação do vapor nesta unidade é realizada por meio de troca térmica com a água salgada que posteriormente é devolvida ao oceano. Este procedimento implica na elevação da temperatura da água do mar, ocasionando o comprometimento da flora e da fauna da região.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o exposto anteriormente, o acionamento do compressor de Propano por um motor elétrico é uma solução que trará ganhos de eficiência para o processo da Unidade de Desparafinização. A Tabela 8, apresenta uma comparação entre as 2 soluções propostas:

Tabela 8 – Avaliação da Soluções propostas

Parâmetro	Solução 1	Solução 2
Acionamento do Motor	Inversor de Freqüência	HVSD e Soft-starter
Economia de Energia	48.087,82 MWh	47.939,95 MWh
Risco	Médio	Médio
Viabilidade de implementação	Alta	Media
Riscos e dificuldades de implantação	<p>Sua implementação apresenta baixo risco associado, uma vez que deverá ser alocado em uma área disponível a uma distância de até 500m do motor, em um espaço construído exclusivamente para sua instalação.</p>	<p>As dimensões apresentadas pelo fabricante superam o espaço disponível para a sua instalação. Sua massa estimada também tornará necessária uma adequação da estrutura existente, o que poderá demandar um maior tempo de parada e aumentar a complexidade do empreendimento.</p>
Confiabilidade e manutenção	<p>Dispositivos eletrônicos, como os que compõem o Inversor de freqüência, apresentam alta confiabilidade. Equipamentos mais novos podem apresentar a tecnologia de células redundantes que, em caso de falha, mantêm o sistema em funcionamento até o momento propício para a sua substituição. Por outro lado, o turbo-multiplicador, necessário para a implementação desta solução, pode ocasionar em um número de intervenções similar aos demais controles de capacidade propostos.</p>	<p>Os sistemas mecânicos mais modernos apresentam alta confiabilidade. O HVSD, por outro lado, requer um sistema hidráulico associado que pode implicar em falhas como vazamentos, defeito nas bombas, etc.</p> <p>Esta solução requer a aquisição de um <i>soft-start</i>. Equipamentos no nível de potência de 6MW apresentam o mesmo aparato tecnológico que o Inversor de freqüência.</p>
Controlabilidade	<p>O Inversor de freqüência é um dispositivo que proporciona ao sistema um controle preciso, garantindo flexibilidade operacional ao conjunto.</p>	<p>O controle por variação da velocidade pela alteração da transferência de torque apresenta uma faixa de operação limitada a 70% a 110% da rotação nominal.</p>

Parâmetro	Solução 1	Solução 2
Higiene, segurança e meio-ambiente	O Inversor de frequência, além de não apresentar riscos ao meio-ambiente durante sua operação, possui procedimentos simples de manutenção que não implicam em riscos ao executante.	Vazamentos no sistema de óleo podem representar riscos ao meio-ambiente. A operação de máquinas rotativas também apresenta maiores riscos à saúde como ruído e acidentes durante intervenções operacionais.

Nota: Elaboração própria.

Apesar do objetivo deste estudo ser identificar a solução que apresente a estratégia com maior ganho de eficiência energética, as soluções sugeridas apresentam ganhos energéticos muito similares, não tornando tão evidente a escolha da melhor solução. Devido a ganhos referentes a aspectos de controle e manutenção, a solução 1 foi adotada.

Um estudo de viabilidade técnico econômica foi realizado e os resultados econômicos são bastante positivos, justificando a troca da turbina a vapor por um motor elétrico. Por questões de sigilo industrial, estas informações não podem ser divulgadas.

CAPÍTULO 5 – VIABILIDADE DA EFICIENTIZAÇÃO ELÉTRICA NA INDÚSTRIA

5.1 ABORDAGEM DA SOCIEDADE

A preocupação com o bom uso dos recursos naturais é justificável não apenas pelos impactos ambientais causados, mas também porque investir em conservação de energia é uma maneira cada vez mais atrativa de reduzir custos, além de minorar os impactos ao meio ambiente. Cabe a sociedade e governo se organizarem em prol de um desenvolvimento sustentável e racional, capaz de levar o Brasil a um maior desenvolvimento e sem maiores agressões ao meio ambiente. Isto só será possível com programas capitaneados pelo governo, como exemplificado pelo Procel e com a participação ativa da sociedade.

Todos os programas de conservação de energia mencionados anteriormente, muitas vezes se entrelaçam em seus objetivos, e causam ineficiências na administração dos mesmos. Poderiam atingir metas mais arrojadas de implementação da eficiência energética. Desta forma, torna-se necessário discutir e aprimorar as formas de atuação dos mesmos o mais breve possível, pois com o passar do tempo, vemos que nenhuma ação será tão rápida que consiga o efeito imediato esperado.

Nos bastidores do governo, salienta-se a importância da eficiência energética como uma das prioridades e que um plano para o setor deve ser divulgado em breve, conforme Souza (MME, 2009)²⁸, o governo está elaborando um plano nacional e, para isso, irá escutar e analisar sugestões e propostas da sociedade organizada. Esta mesma já vem se pronunciando através da Confederação Nacional da Indústria (CNI), e aponta algumas barreiras para os investimentos na área. Jucá²⁹ comenta que a indústria vê com bons olhos a criação de uma agência governamental dedicada exclusivamente ao assunto (CNI, 2009). Comenta que na época do apagão, isso foi muito discutido. É algo que traria muitos benefícios. Quando o governo empresta importância e institucionaliza a questão, o processo fica mais dinâmico, traz um nível de diálogo mais adequado as discussões.

²⁸ Hamilton Moss de Souza, diretor da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME.

²⁹ Augusto Jucá, Gerente Executivo da Confederação Nacional da Indústria (CNI).

O Procel, o arcabouço jurídico, especialmente com a Lei de Eficiência Energética, e as discussões da sociedade poderão fornecer recursos sinérgicos para viabilizar um plano de eficiência energética no Brasil. A *International Organization for Standardization* (ISO), representada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no Brasil, está elaborando uma norma internacional de gestão de energia, que poderá ajudar a fixar e implementar os conceitos de conservação de energia, através da publicação da Norma de Gestão de Energia - ISO 50.001, a qual alavancará movimentos e investimentos nos diversos setores da economia, como o fez a ISO 9.000³⁰ na área de qualidade, anos atrás. Ela tem como objetivo permitir que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho de energia, incluindo eficiência, uso, consumo e intensidade da energia. Espera-se que com ela, grandes reduções em custos de energia, emissões de gases do efeito estufa e outros impactos ambientais, através de gestão sistemática do uso da energia.

Todos estes movimentos poderão ser aglutinados e viabilizados com maior eficácia por um órgão regulador com capacidade de investimentos e com um corpo técnico competente. Mas se deve pensar em um órgão governamental que seja atuante e não apenas figurativo. Ele precisa ser gerido de forma profissional e deve estabelecer metas e prazos viáveis para viabilizar este plano, o qual pode ser baseado no Plano Nacional De Mudanças Climáticas - PNMC, que é bastante arrojado.

5.2 FORTALECIMENTO DAS ESCOS

O fortalecimento das ESCOs seria outro caminho para viabilizar a eficiência energética no curto prazo. Esta questão pode ser mais bem compreendida identificando-se as barreiras para o desenvolvimento deste mercado, conforme a seguir:

- a) Baixa prioridade conferida pelo empresariado à eficiência energética;
- b) Insegurança do mercado (agentes financeiros e empresas), em função do desconhecimento do que sejam ESCOs e projetos de eficiência energética;

³⁰ ISO 9.000 – Norma de Gestão da Qualidade da ISO. ³⁰ ISO 9001 – que estabelece um modelo de gestão da qualidade para organizações em geral.

- c) Dificuldades das ESCOs em obter financiamento devido à falta de consolidação do mercado;
- d) Dificuldade destas empresas em oferecer garantias, tendo em vista que são empresas de pequeno porte;
- e) Inexistência de aval técnico para os projetos de eficiência energética que mitigue os riscos técnicos das operações.

A crise energética pode ter mudado um pouco este panorama, embora a preocupação imediata esteja mais voltada para a questão da redução do consumo de energia elétrica não necessariamente através da eficiência. Assim, entende-se que a percepção do empresário, como característica estrutural e geral do mercado de eficiência energética, permanece como sendo de baixa priorização de ações desta natureza, também porque não é sua atividade fim.

Enquanto o mercado não estiver consolidado, as ESCOs não apresentarão capacidade financeira compatível com o perfil dos projetos de eficiência energética. Este é um dado de realidade de qualquer mercado incipiente. A solução para vencer esta barreira é criar linhas de financiamento com taxas de juros e prazos de amortização compatíveis com este novo mercado. As linhas de financiamento disponíveis no mercado financeiro não se aplicam porque não atendem a duas condições básicas (taxas e prazos). Para estimular o mercado de ESCOs é necessário canalizar recursos para a adequação de um *funding* para estas operações, que seria disponibilizado às ESCOs através de agentes financeiros. Contudo, oferecer uma linha de financiamento não é o suficiente, tendo em vista que o agente financeiro comercial ficará exposto ao risco financeiro da operação. Para cobertura deste risco, o banco certamente irá exigir da empresa garantias reais, freqüentemente em valores que são superiores ao do crédito disponibilizado. Isto irá inibir ou mesmo inviabilizar as operações porque, tendo em conta que elas são consideradas empresas de pequeno porte, não terão como oferecer garantias reais suficientes. Importa ressaltar que as receitas provenientes dos projetos a serem implementados pelas ESCOs não são aceitas como garantias reais pelo agente financeiro comercial, até o momento.

A solução idealizada para vencer esta barreira é oferecer um aval às operações. Este aval oferecido como garantia pelo avalista ao agente financeiro como garantia real, seriam as receitas do projeto de eficiência energética a ser

implantado pela ESCO. Com base nesta análise, concebeu-se um modelo geral capaz de incentivar, de forma sustentada, o desenvolvimento deste mercado que compreende linhas de financiamento específicas, aval técnico e aval financeiro às operações (PROESCO³¹).

O aval financeiro tem por objetivo minimizar o risco financeiro das operações de financiamento de projetos de eficiência energética dentro do modelo concebido e junto com o aval técnico, constitui a base do modelo proposto. O aval financeiro poderá estar organizado sob a forma de um fundo e o aval técnico representa papel da maior relevância no modelo proposto porque significa mitigação dos riscos técnicos das operações. Ele está dividido em duas partes:

- a) Certificação das ESCOs;
- b) Qualificação técnica dos projetos (investimento e resultado).

A formalização da certificação de uma ESCO acontece por meio da concessão de um Selo PROCEL³² de Eficiência Energética, o qual deverá constituir um referencial normativo para avaliação das ESCOs e será utilizado para que as mesmas, através dos requisitos estabelecidos e critérios determinados, busquem a excelência através de patamares progressivos. Entende-se que o Selo de Eficiência Energética será um instrumento decisivo na quebra das barreiras ao desenvolvimento das ESCOs no Brasil, pois, como constatado, uma das causas da insegurança de mercado está no desconhecimento do que seja uma Empresa de Conservação de Energia e de como estas empresas trabalham. De suas *expertises* e de seus custos e benefícios. Com relação à qualificação técnica dos projetos de eficiência energética, será necessária a elaboração de um sistema de avaliação que envolva: a) conceituação; b) definição dos tipos de projetos; c) elaboração de padrões de apresentação dos projetos; d) desenvolvimento de metodologia padrão para estudo de viabilidade; e) avaliação econômico/financeira e de modelos de contrato de desempenho; e f) de protocolos de medição e verificação. Para efeito de orientação do mercado, é conveniente que sejam elaborados modelos de contrato de desempenho, tomando-se por referência a experiência internacional e fazendo-se as adaptações requeridas pela legislação brasileira. Estes tipos de contratos são a forma típica de contratação dos serviços de uma ESCO. Através desses contratos

³¹ PROESCO – Linha de financiamento específico do BNDES para financiar os projetos das ESCOs.

³² Selo PROCEL – Certificado concedido anualmente aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro da sua categoria.

ela será remunerada com o cliente participando dos ganhos (economia de energia) produzidos pelo projeto. Aqui se trata de economia de todas as formas de energia, não focando apenas na energia elétrica. Essa forma de contratação ainda requer ajustes e regulamentações.

Os Protocolos de Medição e Verificação são também peça chave neste tipo de contratação. Esses protocolos definirão as bases sobre as quais serão aferidos os resultados do projeto.

Linhas de financiamento específicas para projetos de eficiência energética são instrumento desejável para a consolidação deste mercado. Análise de linhas de crédito oferecida pelo BNDES permite concluir que já há linhas de crédito que podem atender o objetivo de estimular este mercado desde que combinadas com os instrumentos de aval financeiro e técnico. O modelo proposto admite ainda um quarto ator, que são os investidores de risco. Estes investidores – nacionais ou estrangeiros - poderiam estar organizados em fundos de investimento que aportariam capital de risco aos negócios em uma das seguintes possíveis formas:

- a) Contrato de parceria no projeto;
- b) Participação no capital de uma ESCO;
- c) Participação no capital de uma Sociedade de Propósito Específico – SPE, criada especialmente para desenvolver e implantar o projeto.

O retorno do investimento pode se dar através de dividendos ou dos resultados dos projetos com parte da economia de energia obtida com a implantação das ações. Suas principais ações, atualmente no Brasil, são a promoção de projetos em prédios públicos. O objetivo é promover a efficientização energética dos prédios públicos por meio da eliminação das barreiras legais e administrativas existentes, realização de projetos pilotos de cunho demonstrativo, capacitação dos agentes de conservação de energia e administradores dos prédios públicos, e implementação dos contratos de desempenho. Levantamentos realizados pelo PROCEL indicam que a energia consumida pelos prédios públicos é superior a 10 TWh por ano. O potencial de economia de consumo de energia elétrica nos prédios públicos é da ordem de 20%, o que equivale a uma economia anual de 2.000 GWh / ano (ANEEL; USAID, 2000).

5.3 APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA NA INDÚSTRIA

O uso de tecnologias de efficientização na indústria pode ter grande potencial de redução no consumo de energia elétrica na matriz nacional. Pois as indústrias respondem por 46% do consumo de energia elétrica gerada, conforme dados apresentados no Gráfico 1, no Capítulo 2 deste estudo.

Existe aqui uma grande oportunidade de investir em eficiência energética de forma simples e rápida, bastando adequar às linhas de crédito existentes as necessidades da indústria.

Empresas que investem em projetos de eficiência energética podem economizar recursos, ganhar competitividade e amenizar a pressão sobre o aumento da oferta de energia. Postergar parte do investimento no aumento da oferta de energia permite ao governo e ao empresário liberarem recursos para outras prioridades, sem perda de qualidade, segurança no abastecimento e com ganhos sociais e ambientais.

A avaliação de diversos projetos de eficiência energética industrial em diferentes setores, realizados nos últimos 10 anos, mostraram que programas em eficiência energética são alternativas viáveis. Ou seja, a mesma quantidade de energia pode ser disponibilizada, a preços mais baixos, sem a necessidade de novas obras e com efeitos positivos ao meio ambiente. Entre os setores analisados merece destaque o segmento de siderurgia, que desenvolveu grandes projetos de cogeração, apesar de apresentar o custo médio dos projetos mais alto, pois necessita de grandes investimentos iniciais em equipamentos, a economia de energia é bastante significativa.

As análises dos projetos de eficiência energética permitiram identificar algumas tendências setoriais nos projetos de eficiência energética desenvolvidos, tais como:

- a) Alimentos e bebidas: inversores de frequência em túnel de resfriamento; substituição de fornos em padarias de eletricidade por gás natural;
- b) Siderurgia integrada: projetos de cogeração, emprego do gás para geração de energia elétrica;

- c) Metalurgia: uso de compressores com VSD³³;
- d) Automotivo: uso de compressores com VSD;
- e) Papel e celulose: bombeamento com VSD e recuperação de calor;
- f) Mineração de metálicos: modificações nos ciclones no processo e uso de inversores em correias transportadoras;
- g) Fundição: potencial de recuperação de calor para outros fins (ANEEL, 2009).

A indústria é um dos setores com maior potencial de economia de energia do país, mas não tem conseguido viabilizar que projetos de eficiência energética sejam prioridades. Estudos realizados pela Eletrobrás e Procel, apontam oportunidades relevantes de economia de energia do segmento industrial, mas é preciso comparar a tecnologia existente no país com a tecnologia de referência que se tem em outros países. E a partir destes, criar programas específicos para a efficientização dos processos industriais.

³³ VSD – Variador de velocidade ou inversor de frequência é um dispositivo eletrônico que controla a velocidade, torque, potência e direção de um motor de corrente alternada.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

O Procel por ser o maior programa de governo para a conservação de energia deveria refletir melhores resultados e um avanço considerável em todas as áreas de atividade do País, o que evidentemente não é a realidade atual, notadamente devido aos conflitos de gestão e interesses do programa nas diversas esferas do governo.

A preocupação com o bom uso dos recursos energéticos é justificável não apenas pelos impactos ambientais causados, mas também porque investir em eficiência energética é uma maneira cada vez mais atrativa de reduzir os custos de produção, e conservar energia, além de minorar os impactos ao meio ambiente.

O pós-crise, 2001, mostrou o enorme desperdício de energia que existia no País. O racionamento impôs, num primeiro momento, a redução drástica do consumo de energia (desligamento de aparelhos essenciais e privação de consumo) e a transição para a saída do racionamento, apontou para mudanças definitivas de hábitos de consumo e de aquisição de equipamentos eficientes. A noção de que os recursos energéticos são finitos e de que a produção de energia custa caro ao País começa a ser internalizada pelos consumidores.

Este é, portanto, o momento de consolidar a mobilização social contra a escassez energética através da manutenção de comportamentos recém adquiridos e de estimular novos hábitos de redução de consumo, sem renúncia ao conforto e ao desenvolvimento industrial.

Cabe a sociedade, governo e empresas se organizarem em prol de um desenvolvimento sustentável e racional, capaz de levar o Brasil a um maior desenvolvimento sem agressão ao meio ambiente. Isto só será possível com programas capitaneados pelo governo com participação ativa da sociedade e empresários. Não somente focar as comunidades de baixa renda, pois o potencial de retorno nas indústrias é muito grande e pode financiar diversos programas de universalização dos usos de bens públicos à população carente, como o Luz para Todos³⁴, já em vigor. Como visto no capítulo 3, existe um arcabouço jurídico bastante expressivo e as discussões continuam através de novos projetos de Lei, buscando cada vez mais limpar nossa matriz energética e eficientizar o uso da energia existente.

³⁴ LUZ PARA TODOS – Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica.

A indústria não é prioridade nos programas governamentais de eficiência energética apesar de ser o maior consumidor de energia. O setor industrial responde por 40,7% de toda energia consumida no Brasil (EPE, 2008). No entanto, não existe uma política governamental de longo prazo específica para o uso eficiente da energia na indústria. Isso se reflete na baixa prioridade dos programas federais de eficiência energética, nos investimentos de fundos setoriais de eficiência energética e nas condições de financiamento. Os setores residencial, comercial e público, que têm recebido maior prioridade nas políticas governamentais, respondem apenas por 15,8% do total do consumo de energia no País.

Setores industriais intensivos em uso de energia em alguns países recebem apoio de seus governos para desenvolver projetos de eficiência energética. Existem ações de eficiência energética industrial como renúncia fiscal, condições especiais de financiamento, treinamento e disponibilização de informações técnicas de qualidade.

No Brasil, os programas de financiamento apresentam dificuldades para obter financiamentos, como morosidade para liberação das verbas, taxas de juros não adequadas às necessidades dos investidores, e principalmente, dificuldades em viabilizar projetos de eficiência energética devido a não aceitação de metas de desempenho como garantias ao financiamento.

O potencial de redução de energia na indústria através da implantação de programas de eficiência energética é muito grande, e não pode ficar delegado somente a ação dos empresários. Uma das barreiras para o desenvolvimento do mercado das empresas de serviços, não só no Brasil, mas em outros países, é a baixa prioridade conferida pelos empresários à eficiência energética. Existe uma resistência às ações de consultoria externa nesse sentido. A eficiência energética é importante para as empresas, em termos de custo e competitividade, mas elas preferem fazer estas implantações com a iniciativa e o trabalho dos próprios funcionários.

Importante lembrar que um 1 MW de energia economizada (CME, 2009) com programas de eficiência energética é mais barato do que gerar o mesmo em energia nova³⁵.

A crise de abastecimento elétrico nos trouxe um cabedal significativo de lições e deixou várias ações que estão até hoje em operação. A consolidação de todos estes programas será facilitada pela edição de uma norma internacional de gestão de energia, a ISO 50.001. Espera-se dela o mesmo efeito multiplicador que a ISO 9.000 trouxe para as empresas, como a criação de procedimentos operacionais, buscando sua uniformidade e ampla utilização no mundo, sendo, muitas vezes, fator decisivo na escolha de fornecedor.

O momento é propício para um maior dinamismo nas ações de eficiência energética no setor industrial. As iniciativas nacionais para ações de eficiência energética industrial ainda são muito tímidas. Contudo, a existência de metas de eficiência energética no Plano Nacional de Energia 2030 e a iniciativa do Ministério de Minas e Energia (MME) em desenvolver uma estratégia nacional de eficiência energética confirmam que esse é o momento para firmar parcerias, reorganizar esforços, estabelecer objetivos e priorizar recursos.

Conforme discutido no capítulo 4, existem alternativas plausíveis de fomentar a eficiência energética na indústria através do uso de inversores de frequência em projetos novos e existentes, onde o retorno é rápido e pode diminuir a pressão por novas gerações de energia elétrica. Para isto precisa-se de um órgão governamental que se preocupe com estas questões de eficiência energética, não necessariamente atrelada a ANEEL ou de responsabilidade da EPE, para passar para o setor de planejamento posteriormente. Os leilões de eficiência energética poderiam se adequar perfeitamente neste modelo, desde que os financiamentos possam ser cobertos por *energy savings*, usando os modelos de ESCOs. Mas, no caso da indústria, precisaríamos de super ESCOs. E neste modelo, os financiamentos poderiam vir de investidores, fundos ou bancos de varejo, garantidos por contratos de performance (rendimento). Para isto, há a necessidade de uma regulação específica para viabilizar este setor.

³⁵ Energia Nova – Energia proveniente de empreendimentos de geração que entrarão em operação, ainda inexistente.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/ABNT. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 50001 – Norma internacional de gestão de energia**. Disponível em: <<http://www.abee-mg.com.br/abee/Pagina.do?idSecao=15&idNoticia=337>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual para elaboração do Programa de Eficiência Energética**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 15 nov. 2009.

ANEEL/USAID. **Projeto de inovação de tecnologia energética**: recomendações para uma estratégia regulatória nacional de combate ao desperdício de eletricidade no Brasil. Brasília, agosto de 2000.

ASSUMPÇÃO, G. Marina. **Conservação e uso racional de energia, plano energia Brasil**: eficiência energética. Brasília – DF: Secretaria de Energia – MME, julho de 2001. Disponível em: <<http://www.riosvivos.org.br/arquivos/334637693.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

_____. **Implementação da Lei de Eficiência Energética. Relatório de Atividades – maio a dezembro**. Brasília: MME; Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), dez. 2002. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 14 de out. 2009.

BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Linha de financiamentos para projetos de eficiência energética**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/comercio_servicos/default.asp>, Acesso em: 15 nov.2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **BEN – Balanço Energético Nacional**. Brasília, 2008. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf>, Acesso em: 14 nov. 2009.

_____. **BEN – Balanço Energético Nacional - 2002**: Ano Base 2001. Brasília, dez.2002. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 de Outubro de 2009.

_____. Decreto 4.059 de 19. dez. 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 20. dez. 2001. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 17 out. 2001.

_____. Decreto nº 6.996, de 30 de Outubro de 2009, Tabela Imposto Produtos Industrializados – TIPI. **D.O.U.**, Brasília, DF, 30. out. 2001. Disponível em: <www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/Decretos/2009/dec6996.htm>. Acesso em: 14 nov. 2009.

_____. Lei 10.295, de 17. out. 2001. “Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **D.O.U.**, Brasília, DF, 18. out. 2001. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 17 out. 2001.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**: Ano Base 2007. Brasília, Fev. 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2009.

CME – CONSELHO MUNDIAL DE ENERGIA. Decidindo o futuro, cenário de política energética para 2050. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2009. Maceió, **Anais...** Maceió, 2009.

ELETROBRÁS. **PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.eletrabras.gov.br/procel/1.htm>>. Acesso em: 12 out. 2009.

ELETROBRÁS; PROCEL; CNI. **Eficiência energética na indústria**: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional. Brasília, 2009. Disponível em: <www.cni.org.br> Acesso em: 14 nov. 2009.

_____. **Estudo de oportunidades para eficiência energética na indústria**. Disponível em: <<http://www.eletrica.info/eletrabrasprocel-e-cni-mostram-em-estudo-oportunidades-para-eficiencia-energetica-na-industria/>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S.A. **Relatório de Gestão 2001**. Atividades da Eletrobrás Termonuclear S.A. Disponível em: <http://angra.eletronuclear.gov.br/sys/interna.asp?IdSecao=187&secao_mae=6> Acesso em: 14 nov. 2009.

EPE – EMPRESA PESQUISAS ENERGÉTICAS. **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2008-2017**. 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano%20Decenal%20de%20Energia%20%E2%80%93%20PDE/Estudos_8.aspx?CategoriaID=345>. Acesso em: 14 nov. 2009.

GARCIA, A. G. P. **Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria**. 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico)- COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Leilão de eficiência energética no Brasil**. 2008. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

GRIMONI, J. A. B.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M. **Iniciação a conceitos de sistemas energéticos para o desenvolvimento limpo**. São Paulo: EDUSP, 2004.

HADDAD, J. **Eficiência energética**: integrando usos e reduzindo desperdícios. Co-editado pela Agência Nacional de Energia Elétrica e Agência Nacional de Petróleo. Brasília: ANEEL; ANP, 1999.

HELDER, Q. P. J. et al. **Economia da energia**: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial. São Paulo: Elsevier, 2007.

HOLLANDA, J. B. de. **BEN e a eficiência energética**. 2010. Disponível em: <http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materiais/Artigos_e_Entrevistas.asp?id=76693> Acesso em : 22 mar. 2010.

IEEE. **IEEE-519 - Limites de distorção de tensão, Tabela II.5.** Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap2.html>>. Acesso em: 24 jun. 2010.

IPI - Linha branca - Alíquotas - Novas disposições. Disponível em: <<http://www.monitormercantil.com.br/>>. Acesso em: 14 nov. 2009.

JANNUZZI, G. de. **Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo.** Tese (Doutorado em Engenharia)- Universidade São Paulo – USP, São Paulo, 1997.

MOREIRA et al. A implementação da Lei de Eficiência Energética 10.295/2001 no Brasil: o caso dos motores elétricos e dos conjuntos motobomba monobloco trifásicos. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO, 8., 2008. Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal, 2008.

PMI - PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **PMBOK: guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos.** 3.ed. São Paulo, 2004.

PROCEL; ELETROBRAS; CNI. **Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional.** Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.eletrica.info/eletrobrasprocel-e-cni-mostram-em-estudo-oportunidades-para-eficiencia-energetica-na-industria>>. Acesso em: 20 dez. 2009.

RECHELO NETO, C. A. R. ; SANTOS, E. M. **COMPET : O Programa Nacional de Conservação dos Derivados de Petróleo.** São Paulo: Universidade de São Paulo – USP, 2003.

ROSA, A. da **Simulação de um Soft-Starter para acionamento de motores de indução.** 2003. Monografia (Engenharia)-Universidade Federal de Goiás, 2003.

SIEMENS. **Motores elétricos Siemens e economia de energia.** São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.siemens.com.br/medias/FILES/2438_20050623101837.pdf>, Acesso em: 15 abr. 2010.

VIANA, F. G. O momento das fontes renováveis alternativas. **Revista Pchnotícias Shpnews**, ano 11, n. 43, out.-dez 2009.

VOITH TURBO. **Variadores hidrodinâmicos de velocidade.** <http://www.voithturbo.com/vt_en_paa_ind_varspeed_prod_varsppgvor.htm> Acesso em : Acesso em: 15 abr. 2010.

WEG MÁQUINAS. **Motores síncronos: aplicações, funcionamento e características construtivas.** Disponível em: <<http://www.weg.net/files/products/WEG-motores-sincronos-artigo-tecnico-portugues-br.PDF>>. Acesso em: Acesso em: 15 abr. 2010.