

**IMPACTO DA LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA MOTORES
ELÉTRICOS NO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA
INDÚSTRIA**

Agenor Gomes Pinto Garcia

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Aprovada por:

Prof. Maurício Tiomno Tolmasquim, D.Sc.

Prof. Alexandre Salem Szklo, D.Sc.

Prof. Roberto Schaeffer, D. Sc.

Dr. Mauro Araújo Almeida, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2003

GARCIA, AGENOR GOMES PINTO

Impacto da Lei de Eficiência Energética
para Motores Elétricos no Potencial de
Conservação de Energia na Indústria [Rio de
Janeiro] 2003

XXII, 127 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Planejamento Energético, 2003)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Conservação de Energia
2. Motores Elétricos
3. Indústria

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Não adianta colocar comida em casa às carradas, se se jogam fora as migalhas¹.

Antigo ditado mineiro, dito por meu avô Agenor e
repetido disciplinarmente por minha mãe.

¹ Na verdade, o dito original tinha um viés machista, característico da ordem social vigente: “Não adianta o homem colocar comida em casa às carradas, se a mulher joga fora as migalhas”. Para completar a analogia com a energia, poder-se-ia acrescentar: nem a roça é tão grande para produzir tanto, nem a casa para caber todo o lixo...

A meus irmãos Aú e Kiko
Que propiciaram esta fase da minha vida.
Unidos como os dedos da mão
Conseguimos construir na prática, ao menos entre nós,
O que sonhávamos para todos: de cada um a capacidade,
Para cada um a necessidade (com a saudade eterna de Aparecida e Afrânio).

Agradecimentos

Ao professor Mauricio Tolmasquim pela orientação geral no Mestrado e pela oportunidade de conhecer uma Universidade partícipe da sociedade, diferente daquela que tive de deixar em 1973.

Ao professor Alexandre Szklo, pela orientação e paciência de ler esta dissertação até em vôo sobre o Atlântico, requerendo o rigor acadêmico que longos anos na iniciativa privada, sempre em busca de resultados imediatos, me fizeram deixar em segundo plano.

Ao professor Roberto Schaeffer e Mauro Almeida por participarem da banca examinadora.

À minha companheira Tonha, pelo amor em compartilhar esta nova aventura no Rio de Janeiro, para acompanhar os últimos anos de meu pai e que acabaram resultando nesta nossa nova e incessante busca de saber, hoje avós e sempre eternos aprendizes.

Aos meus queridos pitutos, Gabi, Marcinho e Caiê, e mais Paulinha e o queridíssimo Henrique, pelo apoio e compreensão da privação do convívio do pai, sogro e avô.

À Marlene e tias, eternas incentivadoras.

A todo o pessoal do PPE e CENERGIA, pelo convívio e apoio.

E, *prosopopeisticamente*, ao motor de indução, máquina simples e fantástica, que me desafia desde que, ajudante de manutenção, tive a incumbência de desmontá-lo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

**IMPACTO DA LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA MOTORES
ELÉTRICOS NO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA
INDÚSTRIA**

Agenor Gomes Pinto Garcia

Dezembro/2003

Orientadores: Mauricio Tiomno Tolmasquim

Alexandre Salem Szko

Programa: Planejamento Energético

Esta dissertação pretende, a partir de dados coletados no chão-de-fábrica, obtidos para a realização de diagnósticos energéticos, dar a sua contribuição para estimar-se o impacto da Lei de Eficiência Energética no potencial de conservação de energia elétrica na indústria brasileira. Inicialmente, é discutida a Lei, os programas de etiquetagem e padronização, a regulamentação dos motores; a seguir são discutidos o uso e o potencial de conservação de energia final na indústria, em especial a elétrica e em força motriz. Apresentam-se o motor elétrico trifásico de indução e as diversas questões relativas ao seu uso industrial, para então apresentarem-se os dados obtidos.

Os dados são usados em 5 análises: quanto economizará a aplicação da Lei; quanto economizaria se os motores fossem trocados por unidades de alto rendimento; qual o potencial de economia se os motores fossem simplesmente adequados à carga que acionam; qual a viabilidade de se realizarem trocas imediatas por motores de alto rendimento e, finalmente, de certa forma englobando as outras, qual a redução obtida na troca, ao final da vida útil, por motores de alto rendimento adequados à carga? Da amostra, é feita também uma projeção para o conjunto da indústria brasileira. As respostas indicam que o potencial de conservação de eletricidade em motores deve ser melhor explorado. Contratos de performance, rendimentos exigidos pela Lei otimizados, políticas de esclarecimento e incentivo, metas de intensidade energética são algumas sugestões desta tese.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

**THE IMPACT OF THE ENERGY EFFICIENCY LAW ON INDUSTRIAL
ELECTRICAL MOTORS' ENERGY SAVING POTENTIAL**

Agenor Gomes Pinto Garcia

December/2003

Advisors: Mauricio Tiomno Tolmasquim

Alexandre Salem Szko

Department: Energy Planning

This thesis intends to give its contribution to estimate, from a data set of motor use collected on the shop floor, the impact of the so-called Energy Efficiency Law on industrial electrical motors' energy saving potential. First, the Law, the energy-efficiency labeling and standard programs, and the motors regulation are presented; then, the energy use in the Brazilian industry is discussed in order to assess its energy conservation potential, especially for electricity and motor force. The three-phase induction motor, the various issues of its industrial use and the data set collected are then presented.

The data are analyzed in five ways:

- 1) How much energy will be saved by the Law application?
- 2) How much energy would be saved if high efficient motors were used?
- 3) What would be the energy saved if the motors were not oversized?
- 4) Is it viable to replace immediately the existing motors for high efficient units?
- 5) What would be the energy saved if motors were changed for high efficient units and matching its load in the end of his life?

From the sample, the answers are projected for the Brazilian industry. As the sample has restricted statistical properties, we propose a systematical way of collecting a new one that could be used to perform statistical tests and forecast exercises.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	A Lei de Eficiência Energética.....	5
2.1	Os Programas de Etiquetagem e Padronização	5
2.2	A Lei de Eficiência Energética.....	10
2.2.1	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE	11
2.2.2	A Regulamentação de Motores.....	13
3	O Uso de Energia na Indústria Brasileira	19
3.1	Consumo de energia, por setor e energético.....	19
3.2	Consumo de energia por uso final	21
3.3	Uso da eletricidade na indústria.....	24
3.4	Potencial de conservação de energia	27
3.4.1	Metas do Procel	28
3.4.2	Estimativas de Howard Geller (1994; 2003)	29
3.4.3	Balanço de Energia Útil.....	33
3.4.4	Resumo das estimativas.....	39
3.5	Esforços de realização do potencial de conservação de energia	39
3.5.1	Barreiras à implementação	39
3.5.2	Histórico	41
4	Motores Elétricos.....	47
4.1	Motores na indústria	47
4.2	Características do MITRGE	48
4.2.1	Constituição física	48

4.2.2	Princípio de funcionamento.....	50
4.2.3	Características de funcionamento.....	51
4.2.4	Causas de baixa eficiência.....	56
4.3	Dimensionamento de motores	58
4.4	O motor de alto rendimento.....	59
4.5	Oportunidades de eficientização em motores.....	61
4.6	Metodologias de avaliação	64
4.6.1	Avaliação do carregamento – considerações iniciais	64
4.6.2	Avaliação do rendimento.....	66
4.6.3	Avaliação do carregamento – descrição dos métodos	68
4.6.4	Cálculo dos ganhos.....	71
4.6.5	Análise do investimento	73
5	O Potencial de Economia de Energia em Motores Elétricos e a Lei de Eficiência Energética	78
5.1	Características das fábricas.....	78
5.2	Grupos de motores para análise.....	80
5.3	Situação atual dos motores (base)	81
5.4	Projeção para o Brasil.....	86
5.4.1	Conjunto de motores da indústria brasileira	87
5.4.2	Projeção feita	88
5.5	1 ^a Análise – Uso da Lei de Eficiência Energética	89
5.6	2 ^a Análise – Uso de motores de alto rendimento.....	91
5.7	3 ^a Análise – Adequação à carga	95
5.8	4 ^a Análise – Troca imediata por motor de alto rendimento.....	98
5.9	5 ^a Análise – Troca por Motor de Alto Rendimento ao fim da vida útil	101

5.10	Comparação das análises	103
6	A questão da exploração do potencial de economia de energia em motores	106
6.1	Ações pertinentes.....	107
6.2	Contratos de <i>performance</i>	109
6.2.1	Medição e Verificação.....	110
6.3	Estimativa do potencial – proposição de metodologia	114
6.3.1	Amostra	115
6.3.2	Análise por fábrica	115
6.3.3	Banco de dados	116
7	Conclusões e Recomendações	117
7.1	Equation Chapter (Next) Section 1 Resultados da Lei de Eficiência Energética para Motores	117
7.2	Outras Oportunidades de Uso Mais Eficiente de Energia em Motores.....	117
7.2.1	Dimensionamento Correto dos Motores.....	117
7.2.2	Adoção dos índices dos motores de alto rendimento	118
7.2.3	Troca por motores de alto rendimento.....	118
7.3	A exploração do potencial de conservação de energia em motores elétricos	118
7.3.1	Os contratos de <i>performance</i>	119
7.3.2	Políticas Públicas.....	119
7.4	Balanço de Energia Útil.....	120
	Referências	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etiqueta de Eficiência Energética do PBE.....	5
Figura 2 – Impacto dos programas nas vendas.....	8
Figura 3 – Passos de um programa de etiquetagem ou padronização	9
Figura 4 – Abrangência dos Estudos do CGIEE	11
Figura 5 - Rendimentos dos motores padrão: diferença entre os previstos na Lei e os praticados pela Weg	16
Figura 6 - Rendimentos dos motores de alto rendimento: diferença entre os previstos na Lei e os praticados pela Weg.....	17
Figura 7 - Consumo de energia na indústria por setor.....	19
Figura 8 - Participação dos setores no consumo de energia (2001)	20
Figura 9 - Energéticos utilizados na indústria (2001)	21
Figura 10 - Consumo de energia final na indústria por uso final	22
Figura 11 - Uso final por setores	22
Figura 12 - Uso final por energético.....	23
Figura 13 – Uso de energia (final) para força motriz	24
Figura 14 - Evolução do consumo de eletricidade na indústria e no país	25
Figura 15 - Consumo de eletricidade na indústria por setor e uso final	26
Figura 16 - Consumo de eletricidade na indústria por uso final e setor	27
Figura 17 – Selo Procel de Economia de Energia	44
Figura 18 – O Motor de Indução Trifásico com Rotor em Gaiola de Esquilo	49
Figura 19 – Polaridade de um motor de indução.....	51
Figura 20 – Curvas de desempenho de um motor	53
Figura 21 – Desbalanceamento x Aumento de Perdas	58
Figura 22 - Evolução dos motores (kg/kW)	59

Figura 23 – Rendimento comparativo de motores americanos de 1955 x 1983	60
Figura 24 – Fluxograma: análise de troca de motor.....	64
Figura 25 - Parâmetro A x rendimento nominal para motores Weg.....	67
Figura 26 - Parâmetro a x rendimento nominal para motores Weg	68
Figura 27 - Alternativas de investimento em uma fábrica.....	75
Figura 28 - Grupos de motores	81
Figura 29 - Distribuição dos carregamentos.....	83
Figura 30 - Distribuição dos rendimentos	85
Figura 31 - Comparação entre as fábricas A e H.....	86

1 INTRODUÇÃO

A aprovação da “Lei de Eficiência Energética” (Lei no 10.295 de 17.out.2001 – BRASIL, 2001b), cuja tramitação no Congresso Nacional iniciou em 1990, vem instituir a etiquetagem obrigatória no Brasil, mecanismo de reconhecida eficácia para melhorar o uso eficiente de energia². O primeiro equipamento a ser regulamentado foi o motor elétrico trifásico, através do Decreto 4.508, de 11.dez.2002 (BRASIL, 2002). Estima-se que este equipamento pode chegar a consumir 32% da energia elétrica do país (MME, 2001, p. 23).

Programas de Etiquetagem (como o PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem – ver item 2.1) e Padronização (agora aqui introduzido com a Lei de Eficiência Energética) são técnicas consagradas e hoje adotadas em mais de 25 países (ver nota de rodapé 9, na página 6). No entanto, cabe indagar-se qual a economia a ser obtida com a Lei. Esta é uma pergunta difícil porque envolve várias questões: como (com que carregamento e rendimento) e quanto (horas/ano) operam os motores? E, o que é pior, onde estão os dados?

Estimativas têm sido feitas, chegando a apontar uma economia de 4%³. Este trabalho pretende, a partir de dados coletados em chão-de-fábrica para a elaboração de diagnósticos energéticos, estimar o impacto da Lei e verificar que projeções podem ser feitas para o cenário nacional. Por ser uma amostra com reduzida validade estatística, o estudo só pode apontar caminhos.

Para responder às perguntas acima, considerando que a Lei estabelece apenas o rendimento nominal dos motores, por potência e polaridade, faz-se necessário avaliar-se primeiramente: Como e quanto operam os motores da indústria? Qual a sua distribuição por velocidade e potência? Qual o rendimento operacional (diferente do nominal, apresentado na Lei)? Qual o ganho com a troca pelos novos motores? Adicionalmente, a

² Minimum efficiency standards could be adopted for all new major household appliances (refrigerators, freezers, clothes washers, and air conditioners), lighting products (lamps and fluorescent lighting ballasts), and motors sold in Brazil after a certain date. Consumers would automatically purchase relatively efficient products without the need to educate and convince them to do so. By making more efficient products the norm, economies of scale occur and the incremental cost for greater efficiency is reduced (GELLER et al., 2003, p.5).

existência de motores de alto rendimento e índices mínimos estabelecidos para esta categoria pela Lei, leva às perguntas: Qual o ganho obtido se os índices estabelecidos para motores padrão tivessem sido os considerados para motores de alto rendimento? Qual o investimento associado, já que estes motores são mais caros e às vezes construídos em diferentes carroças? É viável, do ponto de vista financeiro, considerarem-se estes índices? E, além da aplicação da Lei, o que se pode fazer adicionalmente para tornar mais eficiente a operação dos motores? Finalmente, já que a amostra não tem o rigor necessário, indicar os passos a percorrer para se ter uma boa resposta a estas perguntas.

A eficiência energética é, hoje, uma questão crucial para a Humanidade – Geller (2003, p.2), em seu último livro *Energy Revolution*, afirma que “as atuais fontes de energia e padrões de uso são insustentáveis. O consumo cada vez maior de combustíveis fósseis causará enorme dano ao meio ambiente, riscos sem precedentes à mudança do clima, e esgotará rapidamente as reservas de petróleo”. Não é uma mensagem pessimista, pois logo adiante acrescenta que uma “revolução energética” é possível e desejável. Enfatizando-se uma **eficiência energética muito maior** e ganhando-se confiança nas energias renováveis, todos os problemas relativos aos atuais padrões de uso de energia e suas tendências podem ser mitigados (GELLER, 2003).

No Brasil, o racionamento de 2001 mostrou duramente que a energia (em especial, a que vem sob a forma de eletricidade) não é abundante⁴ e nem tem custo de oportunidade nulo, como têm mostrado os aumentos de tarifa⁵. A conjuntura de sobreoferta de

³ Depoimento da Diretora de Eficiência Energética do MME Marina G. Assumpção em Seminário do IBMEC a 2.abr.2003, no Rio de Janeiro (informação verbal). Tabosa (1999, apud GELLER, 2003, p. 173) fala em 2 a 8% em cada motor, dependendo do seu tamanho.

⁴ O presidente do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Mário Santos, está preocupado com o fornecimento de energia para o Sul do Brasil e por isso está pedindo à Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) autorização, em caráter excepcional, para importar cerca de 800 megawatts médios (MWmed) de energia da Argentina [...]. **Fornecimento preocupa e ONS quer importar energia.** EFEI Energy News, Ano 5 N. 364 - Edição 031005 - Outubro de 2003. Mensagem recebida por correio eletrônico.

⁵ Copom eleva para 22,3% projeção de reajuste das tarifas de energia. A previsão do comitê na reunião de julho era de um aumento de 21% nas tarifas. CanalEnergia, Regulamentação, 28.set.2003. Disponível em <http://www.canalenergia.com.br>. Acesso em: 29.set.2003. Isto para uma inflação de 8,9% aa.

energia elétrica de 2003 não deveria desestimular o esforço em eficiência energética, assim como não o tem feito com as energias renováveis⁶.

Motores elétricos, que consomem um terço da eletricidade ofertada no Brasil, devem ser um foco importante neste esforço. Por isso, foram o primeiro alvo da Lei. Para responder às perguntas acima, este trabalho foi estruturado como se segue:

- a. A Lei de Eficiência Energética:** neste capítulo descreve-se o que são os programas de Etiquetagem e Padronização – modelos existentes, como funcionam, passos a percorrer, resultados obtidos, dificuldades. Apresentam-se a Lei de Eficiência Energética, a estrutura montada para regulamentá-la, o CGIEE⁷; como foi feita a regulamentação dos motores: o mercado no Brasil, os índices estabelecidos.
- b. O Uso de Energia na Indústria Brasileira:** este capítulo visa mostrar como se dá o consumo de energia na indústria, analisando-o por setor industrial, por energético e por uso final e situando-se a importância da eletricidade e da força motriz, em particular. Analisam-se estimativas já feitas do potencial de conservação de energia na indústria em geral, e em eletricidade e motores, especificamente. Mostram-se os principais esforços já realizados para realizar este potencial, destacando-se a atuação do Procel e do Programa de Eficiência Energética da Aneel. Comentam-se as barreiras existentes e os resultados obtidos.
- c. Motores Elétricos:** apresentam-se os motores na indústria: tipos, usos, evolução; em seguida, mostram-se as características do motor de indução trifásico em gaiola de esquilo: constituição, funcionamento – princípio, características, variáveis, interrelações, perdas e partida. Analisam-se as causas de baixa eficiência na sua aplicação. Discute-se com é feito o seu dimensionamento. Apresenta-se o motor de alto rendimento. É apresentada a metodologia de avaliação da *performance* do motor no campo: avaliação do carregamento, rendi-

⁶ “A situação conjuntural de sobreoferta de energia não tem sido argumento suficiente para reverter o interesse do novo Governo em estimular o desenvolvimento das fontes renováveis de energia [...]” (TOLMASQUIM, 2003, Introdução).

⁷ Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, órgão inter-ministerial. Ver item 2.2.1, na página 11.

mento e cálculo dos ganhos possíveis com a troca por motor de alto rendimento ou adequado à carga acionada, com a análise econômica do investimento, por motor e por fábrica.

- d. O Potencial de Economia de Energia em Motores Elétricos e a Lei de Eficiência Energética:** neste capítulo são apresentados e analisados os dados obtidos na amostra considerada. Inicialmente, são mostradas as características das fábricas e do levantamento de dados feito em cada uma. Exibe-se o agrupamento dos motores feito para o estudo. A partir dos dados obtidos e medidos no campo, é apresentada a situação atual dos motores em relação à distribuição por potência e velocidade, carregamento, rendimento e consumo de energia. Em seguida, é apresentado o método adotado para projetar os resultados para o universo brasileiro. São feitas, então, 5 simulações: 1^a análise: uso da Lei de Eficiência Energética – simulada a troca de todos os motores por outros adequados à Lei; 2^a análise: uso de motores de alto rendimento – igual análise, supondo os motores com os índices definidos para motores de alto rendimento; 3^a análise: adequação dos motores à carga – simulada a situação de troca de todos os motores sobredimensionados; 4^a análise: troca imediata por motores de alto rendimento – aqui supõe-se a análise feita normalmente em diagnósticos energéticos; 5^a análise: troca por motores de alto rendimento ao fim da vida útil – esta análise, de certa forma, congrega as análises anteriores. Finalmente, é feita a comparação das análises feitas.
- e. A questão da exploração do potencial de economia de energia em motores:** Detectado um bom potencial a explorar, este capítulo discute as ações pertinentes. São relacionadas algumas políticas públicas propostas que podem alavancar o uso deste potencial. Entre os instrumentos de mercado, são discutidos os contratos de *performance*, que parecem ser o instrumento mais adequado – são listados os riscos e especial atenção é dada aos procedimentos de Medição & Verificação. Em seguida, é feita uma proposição de metodologia para avaliação sistemática do potencial de conservação.
- f. Conclusões e recomendações:** sintetizam-se as conclusões e as recomendações para desdobramento deste trabalho.

2 A LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.1 Os Programas de Etiquetagem e Padronização

Etiquetas visam a dar ao consumidor informações sobre o desempenho energético do produto, como as já tão conhecidas do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE – mostradas na Figura 1.

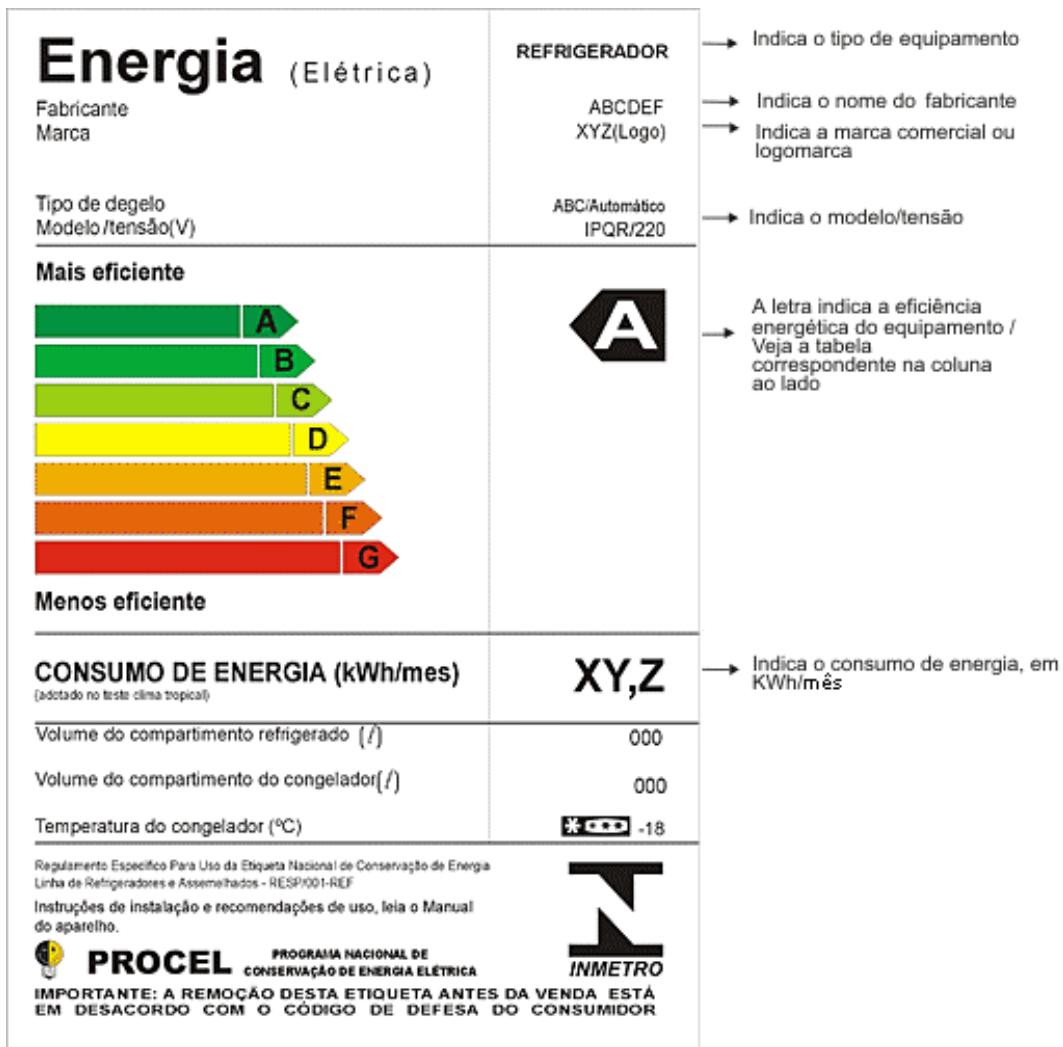


Figura 1 - Etiqueta de Eficiência Energética do PBE

Fonte: INMETRO – PBE. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/etiquetas.asp>. Acesso em: 31.jul.2003.

As etiquetas podem ser (CLASP⁸, 2001, p. 7):

⁸ A CLASP - Collaborative Labeling and Appliance Standards Program – <http://www.clasponline.org> - é uma associação de organizações, entre elas o Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), a Alli-

- **Endosso:** são apenas “selos de confirmação”, assegurando a conformidade frente a determinado critério.
- **Comparação:** como as do PBE, onde o consumidor compara o desempenho energético do produto em questão com outros disponíveis no mercado.
- **Informação:** onde apenas informações de consumo são apresentadas.

Programas de padronização são métodos que estabelecem o desempenho energético de um equipamento, podendo proibir a venda dos que estão abaixo de determinado índice. Há também três tipos de padronização:

- **Padrões prescritos:** exigem a instalação de determinado dispositivo ou característica no equipamento.
- **Padrões de índices mínimos de *performance*:** exigem um índice mínimo de eficiência energética (ou máximo de consumo) em cada equipamento comercializado, sem se ater à tecnologia ou dispositivos usados – este é o caso da nossa Lei de Eficiência Energética.
- **Padrões médios:** estabelecem índices médios de eficiência energética por tipo de produto fabricado, cabendo ao fabricante escolher os modelos e respectivas *performances*, desde que a média seja atingida. Esta abordagem dá margem ao fabricante de se adaptar gradativamente.

Os primeiros programas de etiquetagem e padronização apareceram nos anos 60s, mas somente no fim dos anos 70s se tornaram efetivos, com fortes impactos na fabricação de equipamentos e consumo de energia. Hoje, mais de 25 países adotam programas para algum equipamento⁹. Pode ser considerado um instrumento de boa eficácia para se

ance to Save Energy (the Alliance), e o International Institute for Energy Conservation (IIEC), com apoio da USAID e UNF com o fim de ajudar os países em desenvolvimento a estabelecer programas de etiquetagem e padronização, incluindo o seu projeto, implementação e cumprimento.

⁹Os programas de etiquetagem obrigatoria foram desenvolvidos paralelamente aos padrões. Em 1976, a França introduziu uma etiquetagem comparativa obrigatoria para aparelhos de aquecimento, *boilers*, aquecedores de água, refrigeradores, máquinas de lavar, televisões e máquinas de lavar louça. Japão, Canadá e EUA logo seguiram esta tendência, com programas para estes e outros produtos. O programa de etiquetagem americano, promulgado em 1975, tornou-se efetivo em 1980 para os principais equipamentos residenciais, com o nome de *EnergyGuide*. Não houve outros programas de etiquetagem obrigatoria até que a Austrália adotou o seu em 1987. O programa australiano, como os outros oito maiores que foram criados na década de 1990 em todo o mundo, também cobria os principais equipamentos residenciais. (Duffy 1996). (CLASP, 2001, p. 16).

melhorar o índice de eficiência energética, desde que bem aplicado – o que exige certos cuidados (cf. os passos necessários para um programa, na página 8). O que se espera é que os custos com o programa sejam bem menores que o custo da energia evitada – um bom exemplo de sucesso é a implementação de padrões de eficiência energética nos EUA no setor residencial, que resultará, em 2010, numa economia de mais de 5% do consumo (CLASP, 2001, p. 18), com uma relação custo-benefício de 3,5 a 4,4.

Conseguem-se melhores resultados com boas combinações de programas voluntários com obrigatórios, como mostra a Figura 2 (CLASP, 2001, p. 10): a norma deve cortar a curva no ramo ascendente da distribuição normal unidades vendidas x eficiência para não prejudicar em muito os fabricantes, já que a idéia é retirar somente as unidades menos eficientes do mercado. Assim, os fabricantes atingidos têm que reprojetar os seus equipamentos, deslocando também a curva para a direita; já o processo de conscientização do consumidor, através dos programas de etiquetagem, desloca também a curva para a direita, mais suavemente mas com muito mais esforço¹⁰. Isoladamente, a experiência mostra que os programas obrigatórios conseguem melhores resultados, já que o consumidor pode comprar um equipamento ineficiente inadvertidamente.

¹⁰ Embora possa produzir ótimos resultados. A CLASP (2001, p. 12) cita que a média da eletricidade requerida para operar um refrigerador novo nos EUA caiu 74% desde que as primeiras normas foram anunciadas na Califórnia há 25 anos, mesmo considerando que os novos aparelhos possuem muito mais recursos e maior capacidade.

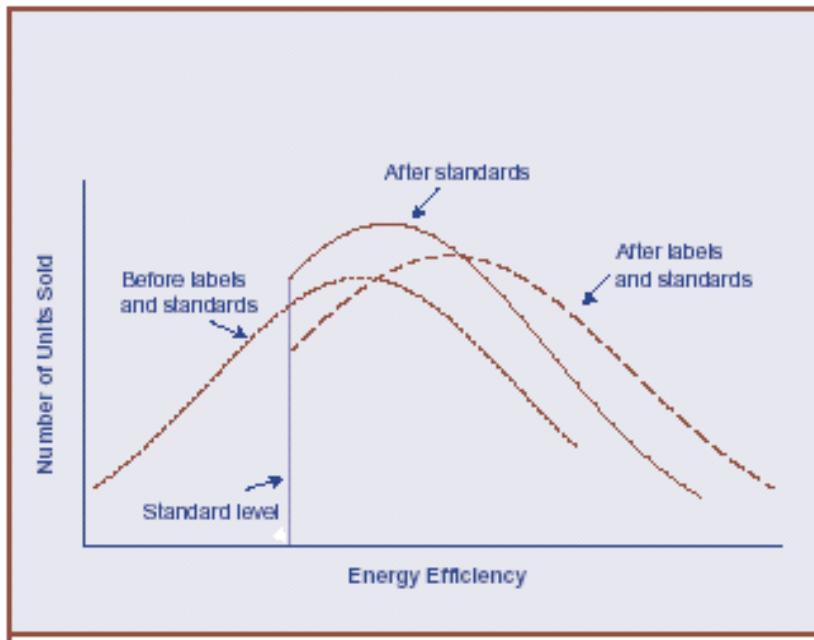


Figura 2 – Impacto dos programas nas vendas

Fonte: CLASP, 2001.

O estabelecimento dos índices mínimos pode ser feito com duas abordagens básicas:

- a. **Estatística:** onde apenas se analisam os modelos existentes e respectivas *performances*, buscando um ponto ideal que remova os menos eficientes
- b. **Engenharia:** neste caso, buscam-se as melhorias técnicas que podem ser feitas nos modelos menos eficientes e sua relação custo-benefício.

O sucesso de um programa de etiquetagem ou padronização requer a combinação de vários fatores. A CLASP indica os passos esquematizados na Figura 3, que passamos a comentar:

- a. **Decisão:** devem ser considerados fatores culturais, institucionais e políticos para garantir credibilidade ao programa. Culturais, porque o programa deve ter respaldo perante o consumidor; institucionais, porque tem que haver uma estrutura que garanta os testes de conformidade e políticos, porque há interesses diversos envolvidos (interessa ao país maximizar a eficiência energética; aos laboratórios, conseguir ter o máximo de acesso à fabricação; aos fabricantes, investir o mínimo possível e gastar o mínimo com a certificação; ao comércio, ter um preço acessível aos consumidores) . É preciso, também, estimar-se o

impacto do programa no consumo de energia, nos preços, nos fabricantes e importadores e no desenvolvimento de tecnologias a serem incorporadas aos equipamentos.

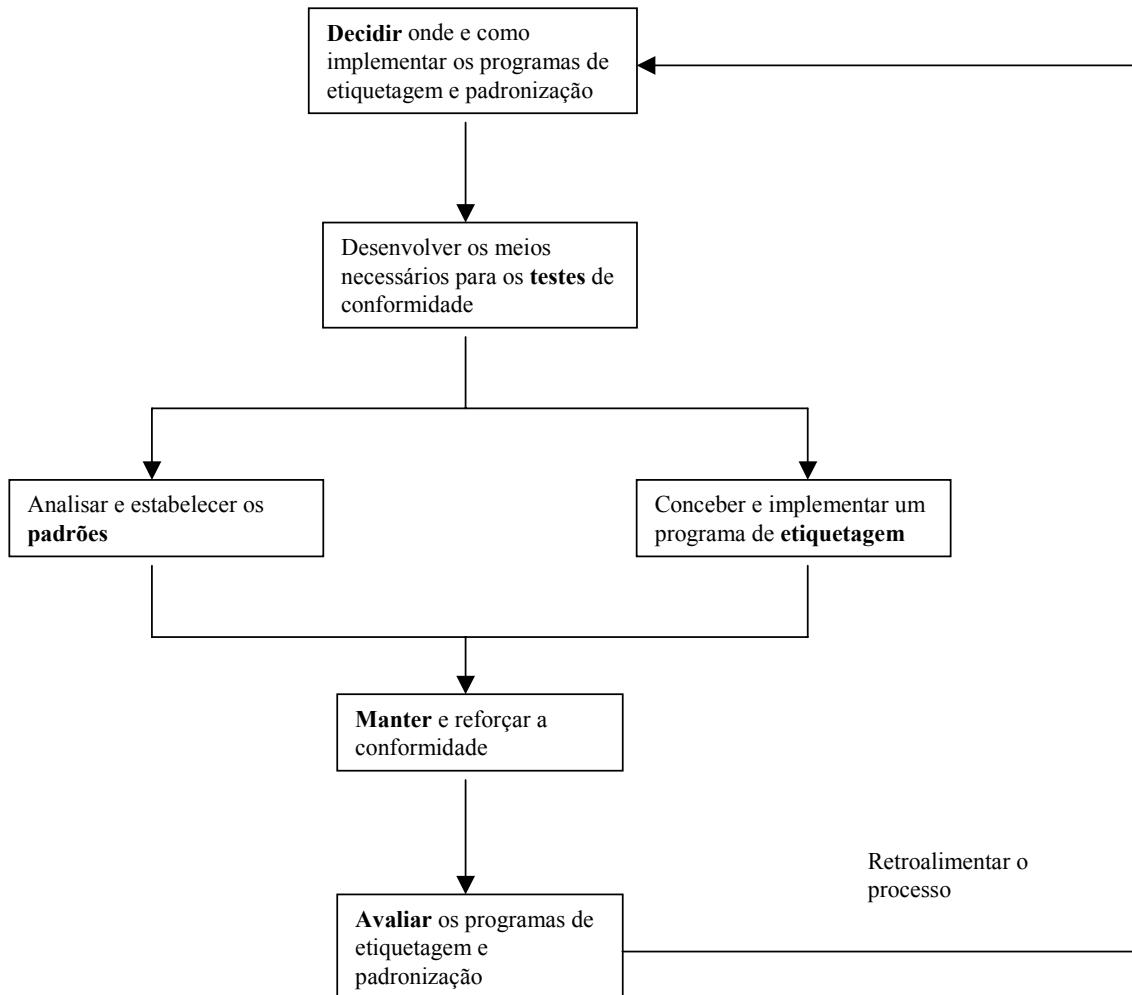


Figura 3 – Passos de um programa de etiquetagem ou padronização

Fonte: Adaptado de CLASP (2001, p. 19).

- b. **Teste:** é fundamental que se possam comprovar os índices estabelecidos e fabricados, o que requer uma estrutura de laboratórios de teste confiável. No Brasil, o INMETRO¹¹ mostra-se à altura desta tarefa¹².

¹¹O INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, cuja missão émissão é “promover a qualidade de vida do cidadão e a competitividade da economia através da metrologia e da qualidade” (<http://www.inmetro.gov.br>).

¹²“Os procedimentos que adotamos atualmente no Inmetro [...] são avalizados por auditorias técnicas o que significa que os certificados de qualidade de nossos produtos emitidos pela rede de organismos credenciados pelo Inmetro não só tem aceitação internacional como nos permitem exigir, legitimamente,

- c. **Etiquetas e Padrões:** existem, como já comentado, vários tipos de etiquetas e padrões, que devem ser cuidadosamente selecionados, de acordo com o universo de fabricantes, instituições, hábitos do consumidor, credibilidade e ganhos a obter.
- d. **Manutenção:** uma vez levado a campo, é preciso que o programa seja obedecido para não perder credibilidade.
- e. **Avaliação:** é preciso avaliar-se constantemente o impacto do programa junto ao público, aos fabricantes e às instituições participantes, de modo que seja constantemente atualizado para produzir o ganho que dele se espera.

2.2 A Lei de Eficiência Energética

Após vários anos de tramitação no Congresso Nacional, onde foi crucial a atuação do emérito professor Jamil Haddad, da Universidade Federal de Itajubá, viajando diversas vezes a Brasília para convencer deputados e senadores¹³, a Lei de Eficiência Energética foi finalmente promulgada a 17 de outubro de 2001, na esteira do racionamento de energia.

A Lei apenas estabelece a decisão de estabelecer “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País” (BRASIL, 2001b). A lei, portanto, vale para equipamentos nacionais e importados. Os comerciantes têm até 30 dias para atender à lei (naturalmente, quando os índices de cada tipo de equipamento for divulgado), ou estarão sujeitos a multas de até 100% do preço de venda. Antes da divulgação dos índices, entretanto, “deverão ser ouvidas em audiência pública, com divulgação antecipada das propostas, entidades representativas de fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas”.

qualidade dos produtos importados”. MARIANTE, A. em discurso proferido no encerramento do Encontro Internacional Inmetro de Metrologia e Qualidade – RJ. 200-. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/359.asp>. Acesso em 24.out.2003.

2.2.1 Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE

Para regulamentar a lei, foi promulgado em 19 de dezembro de 2001 o Decreto 4.059 (BRASIL, 2001b), que, para tal tarefa, criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – **CGIEE**, constituído dos ministérios MME (minas e energia), MCT (ciência e tecnologia) e MDIC (desenvolvimento, indústria e comércio exterior), as agências ANEEL e ANP, um representante de universidade e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em energia.

O CGIEE elaborou um extenso plano de estudos no final de 2002 (CGIEE, 2002), cujas atividades estão sumarizadas na Figura 4.

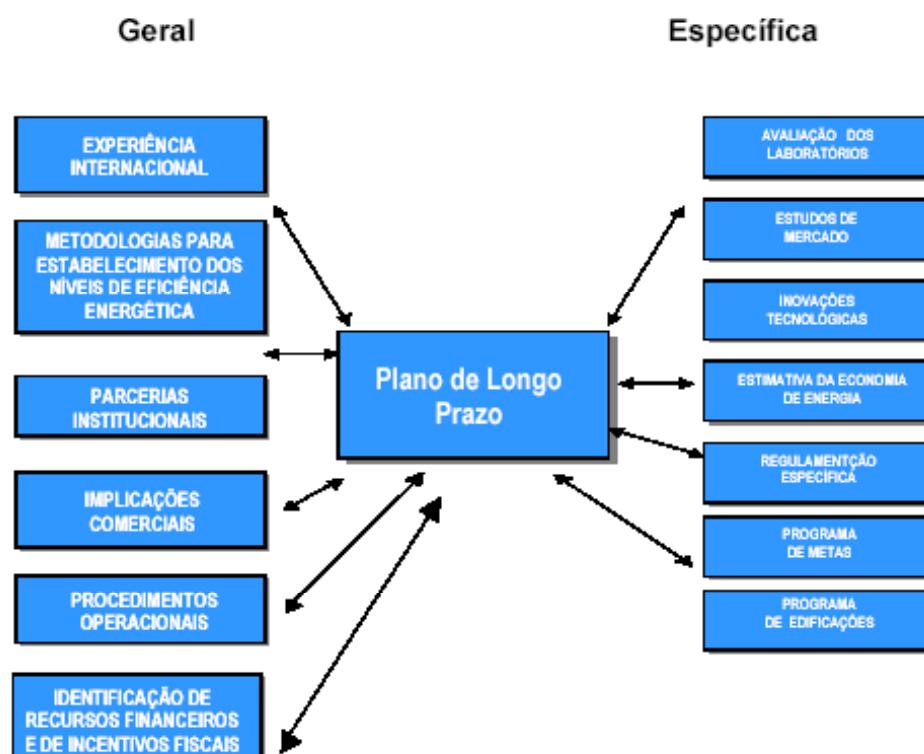


Figura 4 – Abrangência dos Estudos do CGIEE

Fonte: CGIEE (2002, p. 5).

Os estudos de abrangência geral visam montar uma estrutura que possa atender a todos os produtos a regulamentar: cabe, portanto, avaliar a experiência internacional em

¹³ Depoimento do professor no curso do programa Energia Brasil – Micro, Pequenas e Médias Empresas para formação de multiplicadores para a metodologia do Senai em Empreendedores Eletricistas, em novembro de 2001, em Brasília (informação verbal).

programas de padronização e etiquetagem, estudar as diversas metodologias (em especial, as abordagens estatística e de engenharia, já comentadas na página 8) de estabelecimento dos índices mínimos, consolidar parcerias institucionais com, por exemplo, fabricantes e entidades de classe (já existentes no PBE), avaliar as implicações comerciais nos mercados interno e externo, articulando-se a implementação da lei com outras políticas de desenvolvimento industrial e com políticas de comércio exterior (para que não seja vista como barreira à importação), implementar procedimentos operacionais para a aplicação sustentada da lei e identificação de recursos disponíveis que possam ser usados no processo.

Os estudos de abrangência específica servirão para definir a aplicação da lei para determinado equipamento: avaliação específica dos laboratórios aptos a testar o equipamento¹⁴, estudos de mercado, conhecendo-se os fabricantes, modelos, preços e público consumidor, inovações tecnológicas que possam incrementar o índice de eficiência energética, a própria estimativa de energia economizada com a aplicação da lei, a regulamentação específica para cada equipamento (no momento, tem-se apenas a de motores elétricos trifásicos) e o estabelecimento do programa de metas.

Inicialmente, o CGIEE definiu como prioridade os equipamentos já constantes no PBE e alguns outros, sobre os quais já existiam estudos desenvolvidos ou apresentam boa chance de economia, como veículos automotivos. Na Tabela 1 reproduz-se a sugestão aprovada.

Tabela 1 – Meta inicial do CGIEE

EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

A) CONSTANTES DO PBE:

1. Refrigeradores
2. Combinados
3. Congeladores Verticais
4. Congeladores Horizontais
5. Ar Condicionado Domiciliar
6. Motores Elétricos Trifásicos
7. Transformadores

B) OUTROS:

¹⁴ No PBE, estudos têm sido desenvolvidos pelo CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - <http://www.cepel.br>) e na PUC-MG - <http://www.pucminas.br/laboratorios>, e a cadeia metrológica nacional é coordenada pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – <http://www.inmetro.gov.br>.

1. Equipamentos eletrorurais (desintegrador / picador / moedor - DPM)
2. Sistema de iluminação
3. Aquecedores elétricos

EQUIPAMENTOS QUE EMPREGAM OUTRAS FONTES DE ENERGIA

C) CONSTANTES DO PBE:

1. Coletores solares
2. Fogões à Gás
3. Aquecedores à Gás

D) VEÍCULOS AUTOMOTIVOS

Fonte: CGIEE (2002, p. 13).

A atuação do GCIEE é, portanto, uma tarefa de longo prazo (quase permanente), que deve atravessar vários governos e buscar instituir uma cultura de equipamentos eficientes, começando de forma bem calçada no bem sucedido PBE.

2.2.2 A Regulamentação de Motores

Um ano após a sua constituição legal, o CGIEE fez aprovar o Decreto 4.508/2002, que regulamentou a eficiência energética dos “motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo” (BRASIL, 2002, p. 1). Estes motores, como se verá no item 4.1, constituem seguramente mais de 90% da energia motriz produzida por eletricidade na indústria nacional. É usado, também, nos setores residencial, público, comercial e agropecuário, em aplicações como bombas, sistemas de ventilação, refrigeração e ar condicionado e máquinas diversas, chegando a representar um consumo de quase um terço da energia elétrica do país.

Antes de analisar o teor da regulamentação, deve-se examinar o mercado de motores no Brasil.

2.2.2.1 O Mercado de Motores Elétricos no Brasil

O mercado de fabricação é dominado por três fábricas brasileiras:

- **Weg** (<http://www.weg.com.br/>): domina cerca de 75% do mercado, é líder no setor na América Latina, figura entre os cinco maiores fabricantes do mundo, exporta para mais de 50 países e conta com filiais e assistência técnica nos cinco continentes (Fazendo o Mundo Girar: Weg Motores Ltda. Mercosul Magazine, 2003). Em 2002, fabricou 7.619.000 motores (WEG, 2003). Com sede em Jaraguá do Sul, em Santa Catarina, onde surgiu em 1961, domina o fornecimento de motores

de baixa tensão na indústria. Por esta razão, será usada como referência para os motores existentes neste trabalho.

- **Eberle** (<http://www.eberle.com.br/>): com sede em Caxias do Sul – RS, fabrica motores elétricos desde 1939.
- **Kohlbach** (<http://www.kohlbach.com.br/>): também situada em Jaraguá do Sul – SC, fabrica motores e geradores.

No entanto, ainda se encontram funcionando motores de fabricação GE, que dominou o mercado até os anos 70s, e outras marcas como Búfalo, Brasil, que não são mais fabricados. Dos motores estrangeiros, o que mais se encontra são os de fabricação SEW (<http://www.sew.com.br/>), geralmente acoplados a dispositivos de variação de velocidade, como motorredutores e acionamentos eletrônicos.

2.2.2.2 Os Índices de Eficiência Energética

O Decreto 4.508 estabelece, no Art. 3º, que “o indicador de eficiência energética a ser utilizado é o rendimento nominal” (BRASIL, 2002, p. 8). Foram estabelecidas duas tabelas de rendimentos nominais mínimos, uma para os motores padrão e outra para os motores de alto rendimento, que reproduzimos na Tabela 2.

Tabela 2 – Rendimentos pela Lei da Eficiência Energética

Potência nominal		Padrão				Alto Rendimento			
cv	kW	P2	P4	P6	P8	AR2	AR4	AR6	AR8
1	0,75	72,7	76,0	72,5	65,1	80,9	80,6	79,4	75,0
1,5	1,1	75,7	72,7	73,2	67,7	83,1	79,5	79,2	80,5
2	1,5	76,1	77,6	73,5	74,7	84,3	84,0	84,0	84,1
3	2,2	81,5	79,3	76,6	78,1	85,1	84,8	84,7	86,2
4	3	84,0	82,7	79,4	81,3	86,5	86,2	87,0	86,5
5	3,7	83,2	84,6	82,5	82,7	87,5	88,0	87,5	86,2
6	4,5	84,3	84,2	84,0	83,6	87,5	88,0	88,2	88,1
7,5	5,5	85,2	88,0	84,4	84,5	88,7	90,0	89,3	89,7
10	7,5	86,5	85,2	85,8	83,8	90,2	91,5	90,1	88,7
12,5	9,2	87,5	87,7	87,3	86,6	90,5	90,9	90,5	91,0
15	11	89,4	88,3	88,3	87,3	91,0	91,7	90,2	91,4
20	15	91,0	89,8	89,0	87,4	93,0	92,4	90,6	91,9
25	18,5	90,5	90,1	89,4	88,8	93,0	92,6	92,1	92,7
30	22	91,0	91,0	90,2	89,4	93,0	93,0	93,2	93,0
40	30	91,0	91,0	90,6	90,9	93,1	93,0	93,3	93,0
50	37	92,2	91,7	91,2	91,0	93,2	93,0	93,2	93,6
60	45	91,0	91,7	91,7	91,7	93,4	93,6	93,6	94,1

Potência nominal		Padrão				Alto Rendimento			
cv	kW	P2	P4	P6	P8	AR2	AR4	AR6	AR8
75	55	92,5	91,9	92,1	92,7	93,4	93,8	94,0	94,4
100	75	93,1	92,5	92,7	92,6	93,9	94,3	94,6	94,5
125	90	91,4	91,8	92,9	92,6	94,5	94,4	94,6	95,2
150	110	92,7	92,0	93,0	92,8	94,5	95,0	94,7	95,4
175	132	92,9	92,7	93,7		95,0	95,1	95,3	
200	150	93,3	93,4	93,7		95,0	95,3	95,4	
250	185	92,5	93,5			95,4	95,0		

Fonte: Decreto 4.508 (BRASIL, 2002).

As colunas na Tabela 2 significam:

cv e kW Potência nominal (mecânica, em ambos os casos) dos motores considerados

P2, P4, P6 e P8 Motores padrão com, respectivamente, 2, 4, 6 e 8 pólos

AR2, AR4, AR6 e AR8 Motores de alto rendimento com, respectivamente, 2, 4, 6 e 8 pólos

Comparando-se os rendimentos previstos na Lei com os praticados pela Weg para motores padrão, que domina o mercado, como mostra a Figura 5, nota-se que principalmente na faixa de motores pequenos há ganhos significativos. Na figura, as barras à direita indicam os motores que sofreram melhorias para se adaptar à Lei e à esquerda os que já atendiam com sobras.

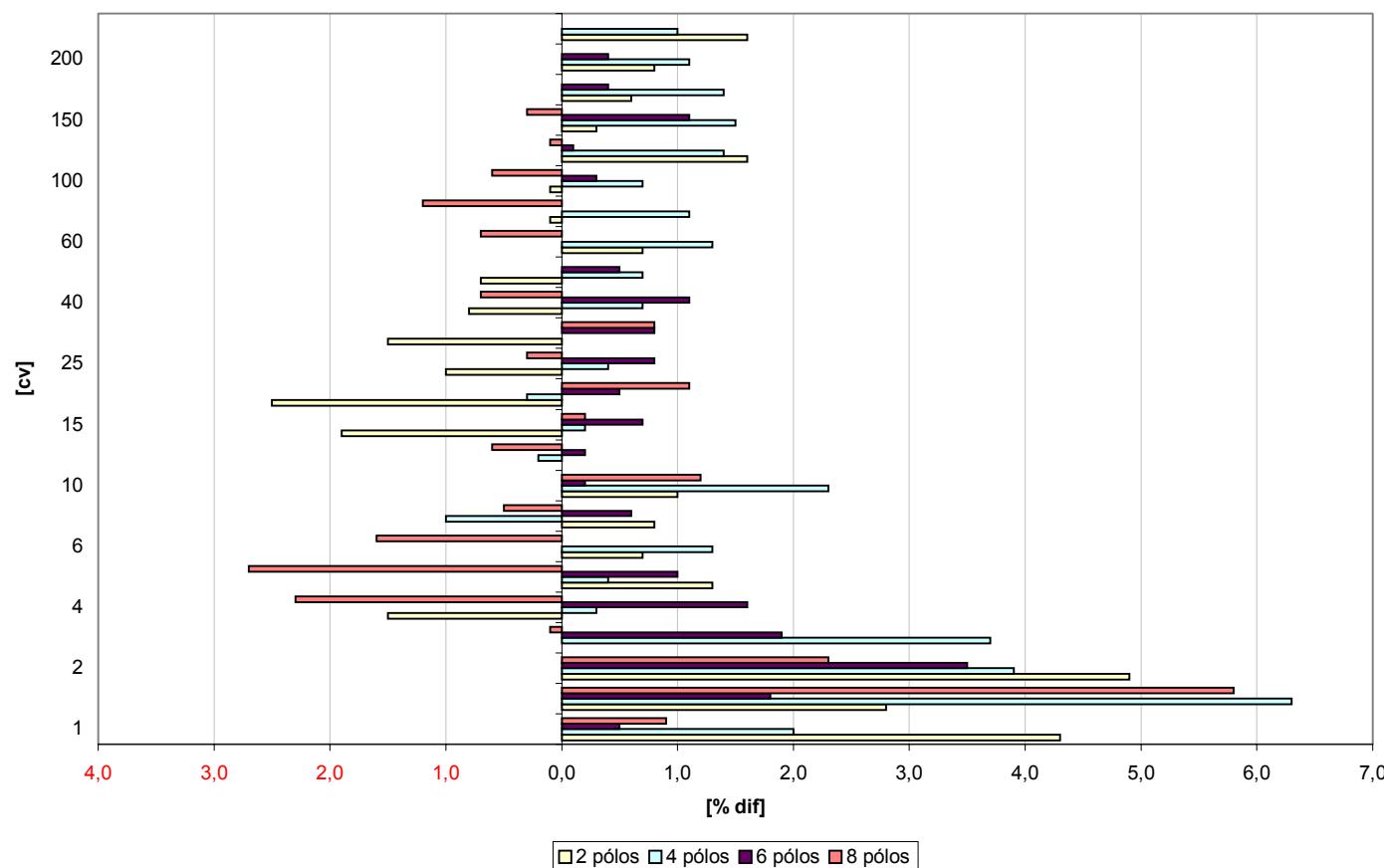


Figura 5 - Rendimentos dos motores padrão: diferença entre os previstos na Lei e os praticados pela Weg

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do Decreto 4.508 e dados de catálogo dos motores Weg.

Já para os motores de alto rendimento, como mostra a Figura 6, os requisitos da Lei já eram atendidos pelos motores de mercado.

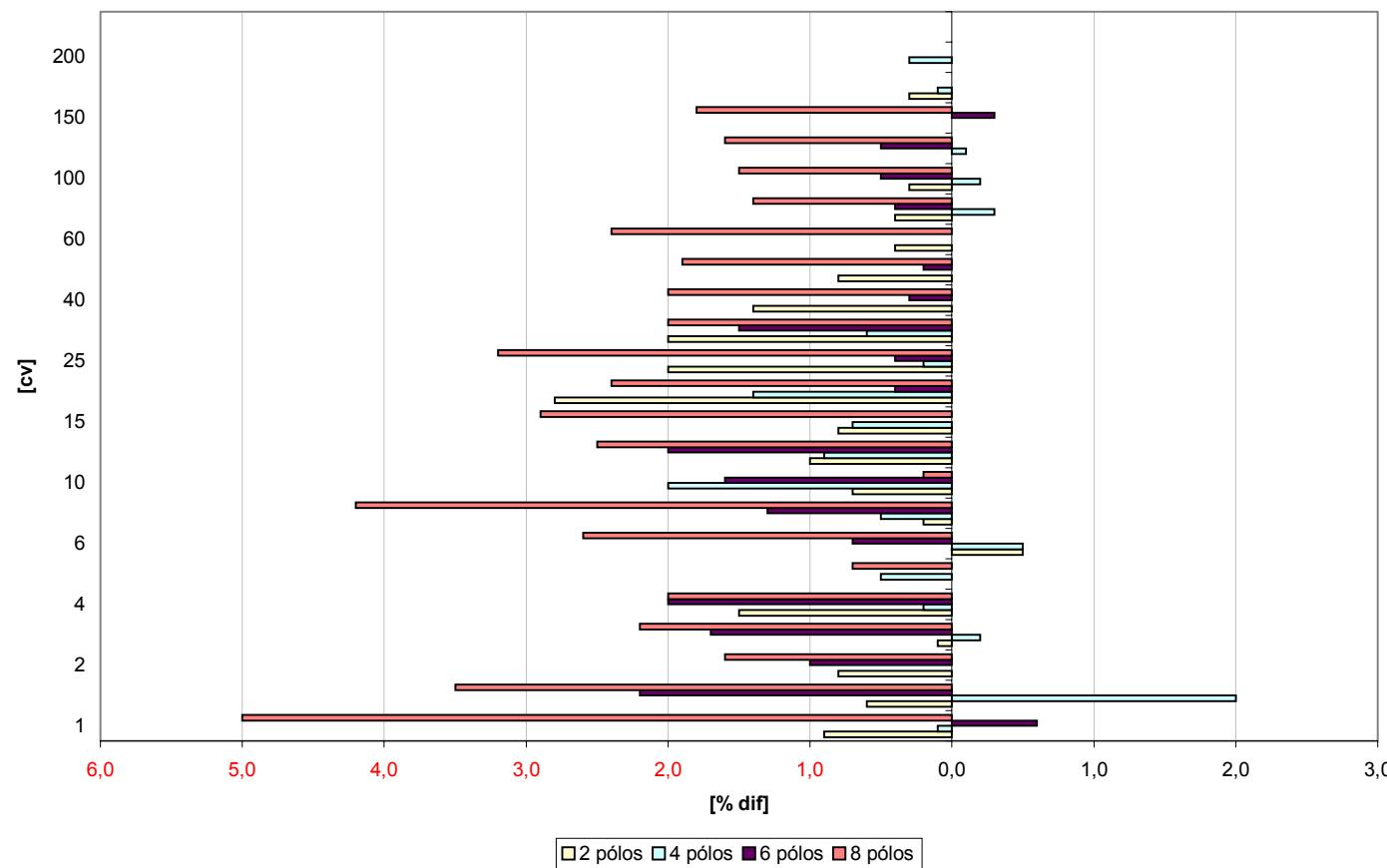


Figura 6 - Rendimentos dos motores de alto rendimento: diferença entre os previstos na Lei e os praticados pela Weg

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do Decreto 4.508 e dados de catálogo dos motores Weg.

Segundo Geller et al. (1998, p. 867), motores representam metade do consumo elétrico industrial, 40% em prédios comerciais e 40% no setor residencial. Aplicando estes percentuais aos dados do BEN 2002¹⁵, e estimando-se 20 e 30%¹⁶ para os setores agropecuário e energético respectivamente, chega-se à Tabela 3.

Tabela 3 – Participação dos motores no consumo de eletricidade do Brasil

Energia consumida em 2001 [GWh]	Total	Participação motores
SETOR ENERGÉTICO	10.979	30%
RESIDENCIAL	73.770	40%
COMERCIAL	44.517	40%
PÚBLICO	28.452	40%
AGROPECUÁRIO	13.171	20%
TRANSPORTES	1.257	0%
INDUSTRIAL	137.774	50%
CONSUMO TOTAL	309.920	133.511
		43%

Fonte: Elaboração própria, a partir do BEN2002 (MME, 2002) e Geller et al. (1998).

Ainda assim, pela enorme importância dos motores no consumo de energia elétrica, mesmo ganhos de 1% (a ordem de grandeza da economia atual) representam a não entrada de usinas de mais de 230 MW – 4% equivaleriam a mais que uma turbina de Itaipu: Itaipu fornece 73 TWh, com 18 turbinas de capacidade total 12.600 MW, 18 x 700 MW (ONS, 2003), um fator de carga de 0,66. Nestas condições, 1.335 GWh (1% da energia usada nos motores) seriam atendidos por uma usina de 231 MW e 5.340 GWh (4%) por 924 MW. Vale observar que este cálculo envolve também os motores monofásicos, que ainda não foram regulamentados.

¹⁵ Balanço Energético Nacional (MME, 2002). Dados relativos ao ano de 2001.

¹⁶ Foram adotados, na falta de melhor estimativa, valores menores que os estimados para os setores comercial e residencial, para evitar uma sobre-estimativa do valor total.

3 O USO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA BRASILEIRA

Este capítulo visa dar uma visão do uso da energia, e em especial a elétrica, na indústria brasileira, para nela situar a participação e importância dos motores elétricos. Busca delinear, outrossim, o potencial de conservação de energia, em especial em eletricidade, e os esforços que têm sido feitos para alcançá-lo.

3.1 Consumo de energia, por setor e energético

A Figura 7 mostra a evolução do consumo de energia total na indústria brasileira, por setor de atividade.

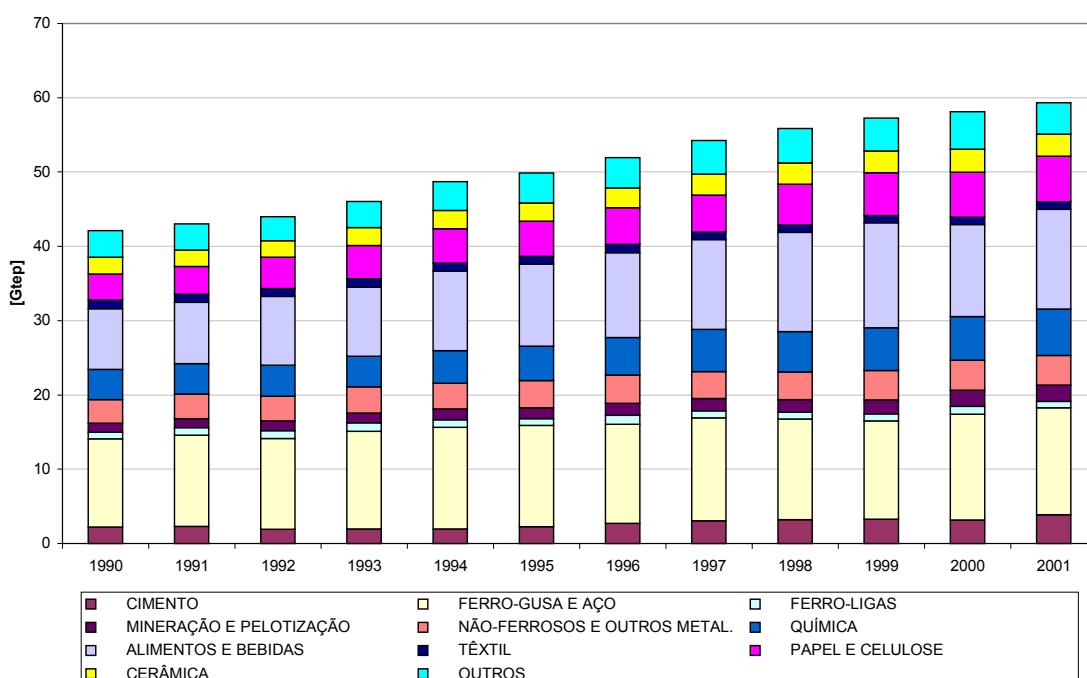


Figura 7 - Consumo de energia na indústria por setor

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN 2002 (MME, 2002)¹⁷.

Nota-se uma tendência de aumento em todo o período, com uma aparente manutenção da participação dos setores. Esta participação pode ser mais bem vista na Figura 8, onde foram utilizados os dados de 2001.

¹⁷ Para a eletricidade, o BEN 2002 (MME, 2002) utilizou o fator de conversão de 0,08 tep/MWh (equivalência física) e não, como se fazia até então, 0,29 tep/MWh (calculado a partir do rendimento das termoelétricas a óleo combustível), o que diminuiu consideravelmente a participação da eletricidade no consumo geral de energia.

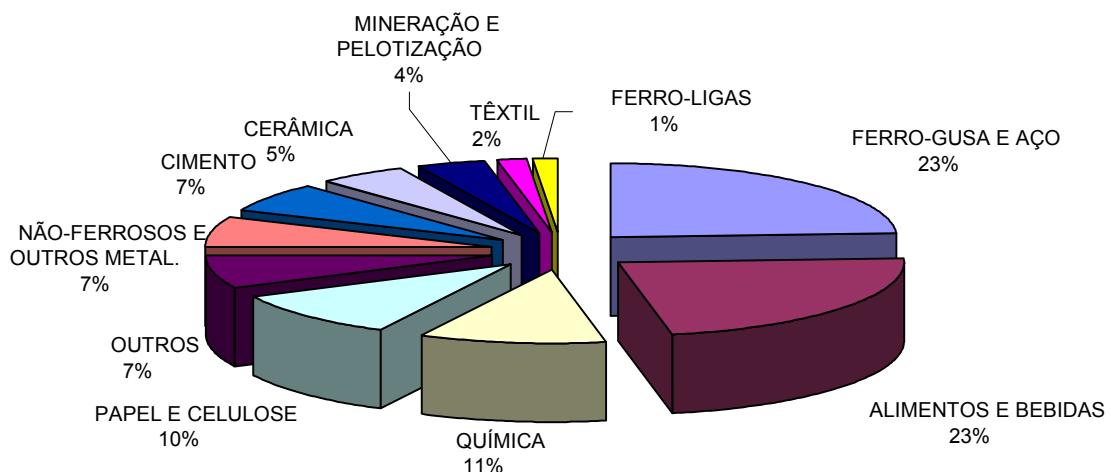


Figura 8 - Participação dos setores no consumo de energia (2001)

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN 2002 para 2001 (MME, 2002).

O setor ferro-gusa e aço utiliza preponderantemente coque de carvão mineral e carvão vegetal, como observam Tolmasquim e Szklo (2000, p. 121), representando 65% da energia consumida (BEN, MME, 2002, tabela 3.7.2.b). No setor de alimentos e bebidas, destaca-se o consumo de bagaço de cana, responsável por 2/3 da energia consumida (dados de 2001 – BEN, MME, 2002, tabela 3.7.8.b).

Em termos de fontes de energia, a participação relativa para o consumo da indústria está na Figura 9. Eletricidade é a principal fonte, com 1/5 de contribuição, seguindo-se o bagaço de cana, com maiores consumos que os combustíveis fósseis.

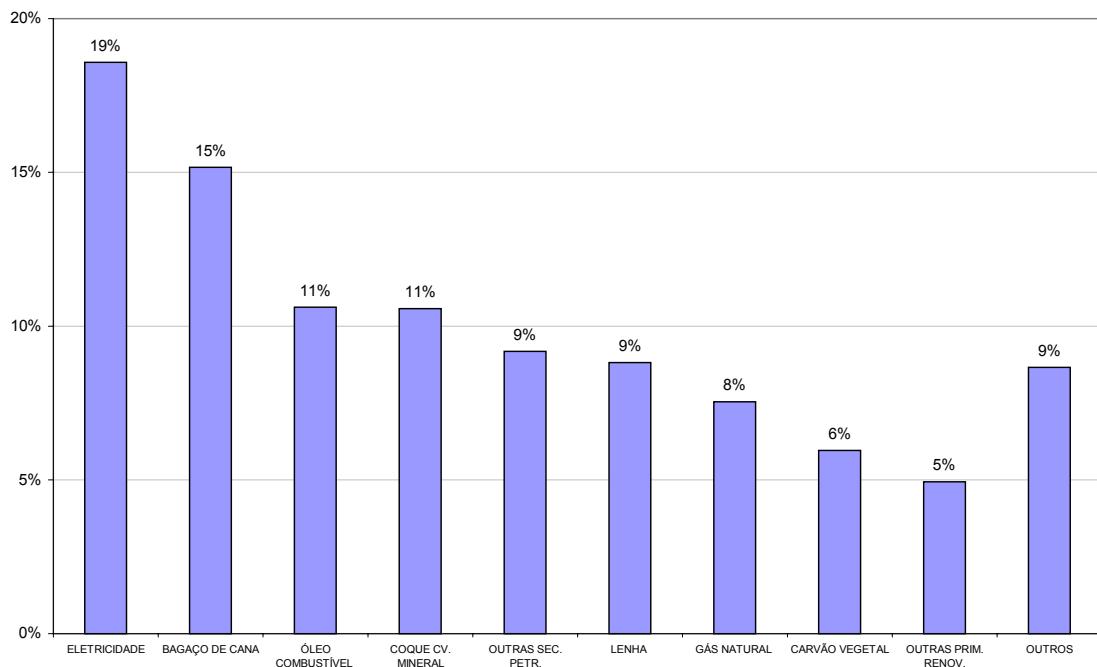


Figura 9 - Energéticos utilizados na indústria (2001)

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002, tabela 3.7.a).

3.2 Consumo de energia por uso final

Quando se aplicam os dados do BEN (MME, 2002) à estrutura do BEU 93 (MME, 1995)¹⁸, para o setor industrial, é possível ter-se uma ordem de grandeza do uso da energia por uso final, como se vê na Figura 10.

¹⁸ Esta, evidentemente, é uma aproximação, pois a estrutura da indústria mudou em dez anos. Todavia, serve para se ter uma idéia dos números envolvidos. O BEU estima, a grosso modo, para cada setor e energético, a participação de cada uso final (por exemplo, força motriz representa, no setor Química, 67% da eletricidade consumida). Estima também, para cada item acima, o rendimento na conversão da energia final para a energia útil (no caso citado, 93%).

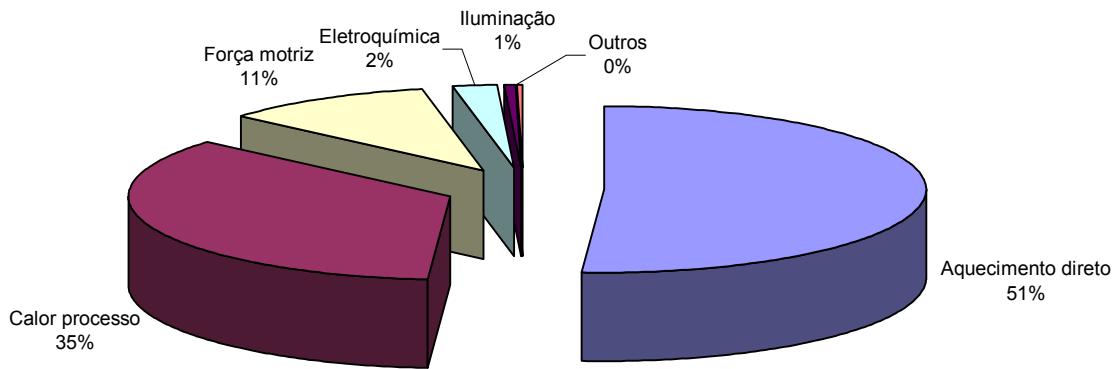


Figura 10 - Consumo de energia final na indústria por uso final

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002) para 2001 e da estrutura do BEU 93 (MME, 1995).

Nota-se que calor (para aquecimento direto ou para geração de calor de processo) é o grande demandante de energia, responsável por 86%. A força motriz, de que trata este trabalho, responde por 11%. A Figura 11 mostra a distribuição de energia por uso final e setores da indústria.

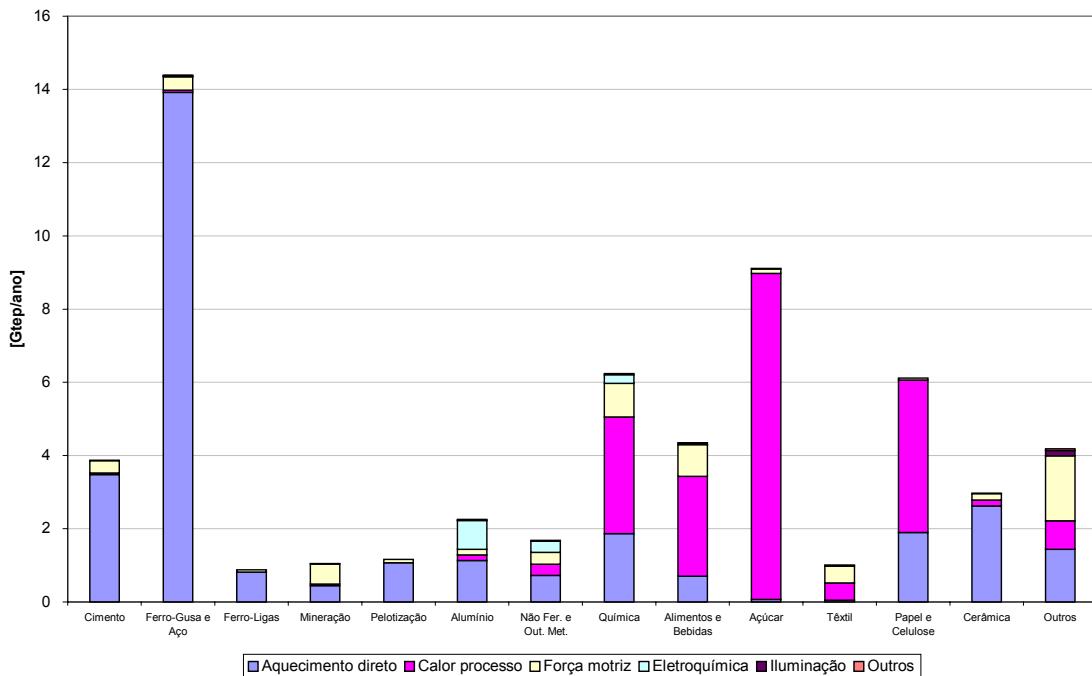


Figura 11 - Uso final por setores

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002) para 2001 e da estrutura do BEU 93 (MME, 1995).

Aquecimento direto (fornos) é usado em quase todos os setores, com grande destaque para ferro-gusa e aço, depois cimento e cerâmica. Calor de processo tem grande

uso em usinas de açúcar¹⁹, fábricas de papel e celulose, químicas e de alimentos e bebidas. Já força motriz é usada em todos os setores, com destaque para as indústrias finais de transformação.

Ao se verificar o uso final pelo emprego das diferentes fontes de energia, tem-se a Figura 12. Fornos são alimentados por quase todos os tipos de energéticos, com destaque para o coque. Vapor também é gerado por várias fontes, em especial o bagaço da cana. Já a força motriz é produzida principalmente por motores elétricos. Eletrólise e iluminação também são produzidos por eletricidade. O BEU considera ainda uma boa parte da eletricidade para geração de calor, talvez ainda resultado do incentivo à eletrotermia da EGTD (ver item 3.5.2.1).

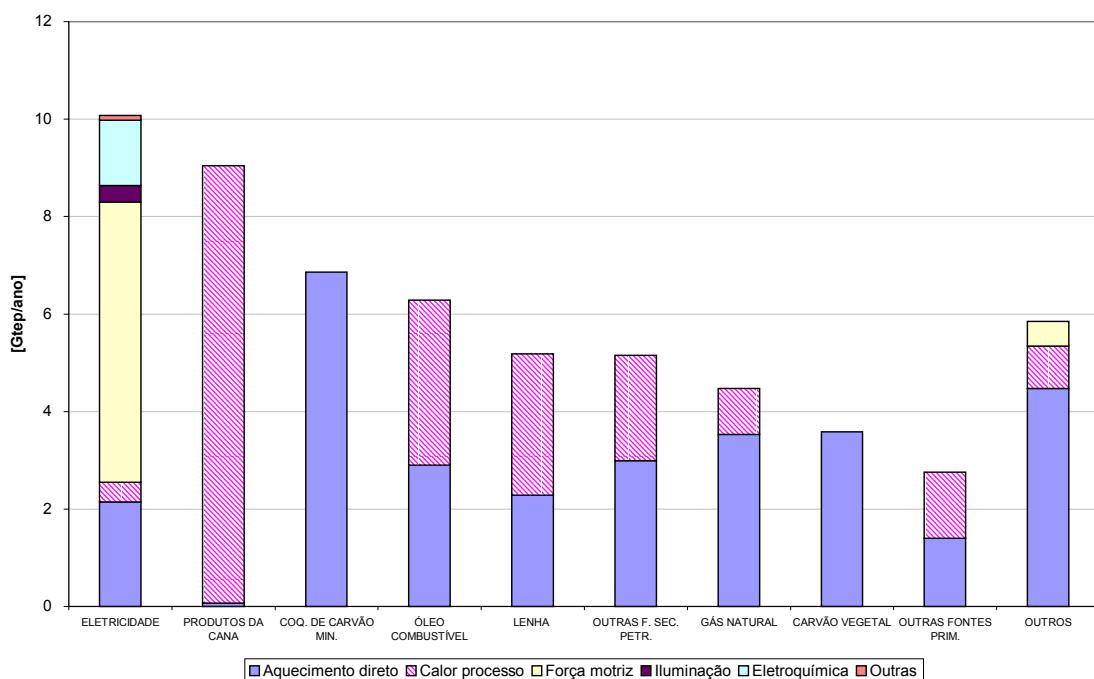


Figura 12 - Uso final por energético

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do BEN (MME, 2002) e BEU 93 (MME, 1995).

A Figura 13 mostra a predominância quase total da eletricidade na geração de força motriz na indústria brasileira.

¹⁹ No BEU, o setor de Açúcar é separado de Alimentos e Bebidas, assim como os setores de Mineração e Pelotização e Alumínio e Outros Não Ferrosos, desdobrados nos setores que lhes dão os nomes (BEU 93 (MME, 1995), p. 4).

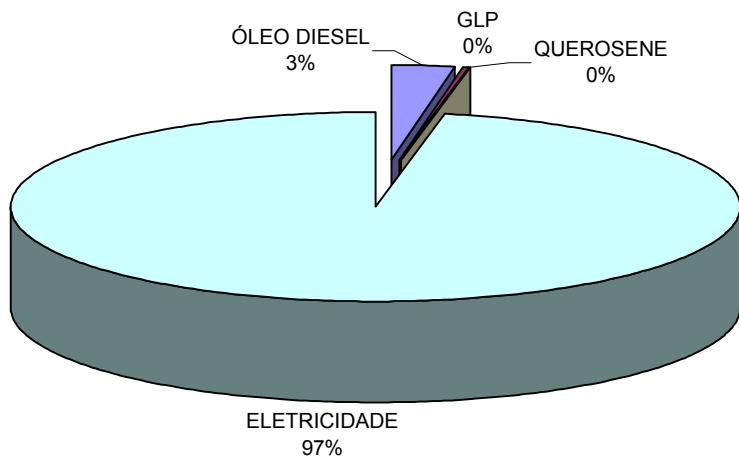


Figura 13 – Uso de energia (final) para força motriz

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do BEN (MME, 2002) e BEU 93 (MME, 1995).

3.3 Uso da eletricidade na indústria

O consumo de eletricidade na indústria brasileira vem crescendo a taxas bem menores que o consumo total, como mostra a Figura 14. Considerando-se os últimos dez anos (1991 a 2001), a indústria vem aumentando o seu consumo à razão de 2% aa enquanto o conjunto do país o faz a 4%. Isto reduziu a participação do setor secundário de 52% para 44%. O gráfico mostra também, claramente, o efeito do racionamento de 2001²⁰.

²⁰ Ainda assim a indústria não encontrou grandes dificuldades para cumprir a sua meta no racionamento: “racionamento de energia elétrica [...], não se confirmaram as expectativas iniciais de um impacto muito intenso e disseminado sobre a atividade industrial”. (CNI, **Sondagem Industrial**, jul.set.2001. Disponível em: http://www.cni.org.br/produtos/infra/src/suplem_sondaind_03101.pdf. Acesso em: 9.nov.2003).

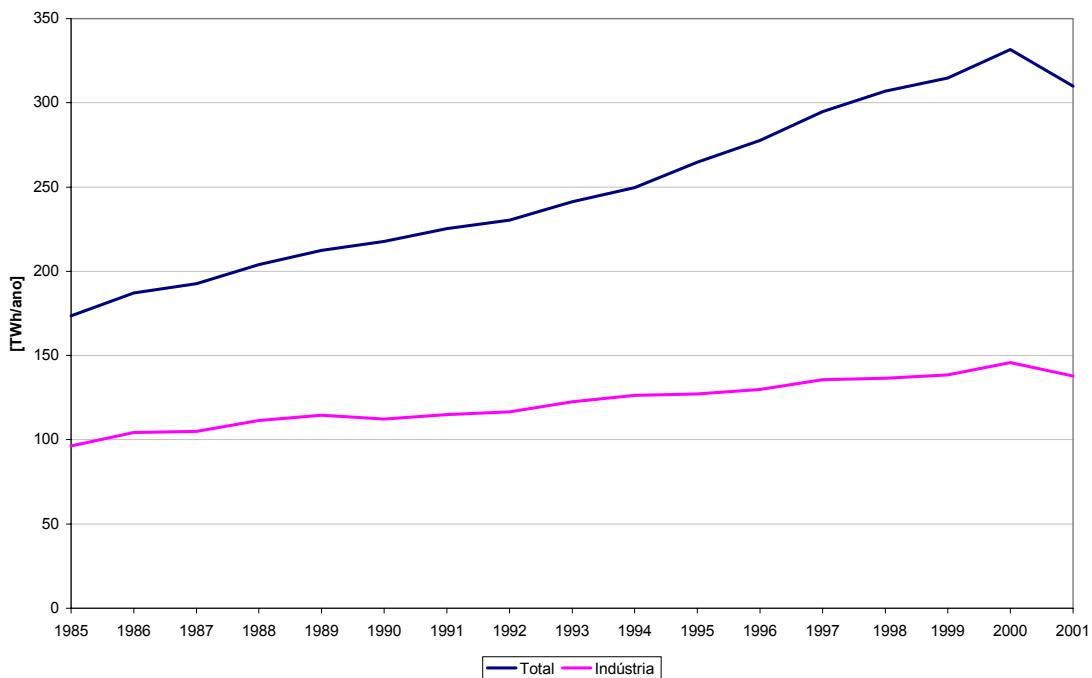


Figura 14 - Evolução do consumo de eletricidade na indústria e no país

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002).

Este crescimento parece ter uma correlação pouco forte com o PIB, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Taxas de crescimento do PIB

Discriminação	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Indústria	1,91	3,28	4,65	-1,45	-1,60	4,87	-0,31	1,52
Extrativa Mineral	3,70	5,98	4,80	8,03	4,98	11,09	3,90	10,39
Transformação	2,00	2,14	4,50	-3,65	-1,58	5,39	0,95	1,93
Construção Civil	-0,43	5,21	7,62	1,35	-3,22	2,98	-2,60	-2,52
Serv. Ind. Util. Publ.	7,63	6,00	5,90	3,82	2,49	4,06	-5,64	1,53

Fonte: MDIC (2003).

A distribuição do consumo por setores e uso final pode ser bem visualizada na Figura 15, onde novamente foi utilizada a estrutura do BEU 93 (MME, 1995) aplicada aos dados de 2001 do BEN (MME, 2002).

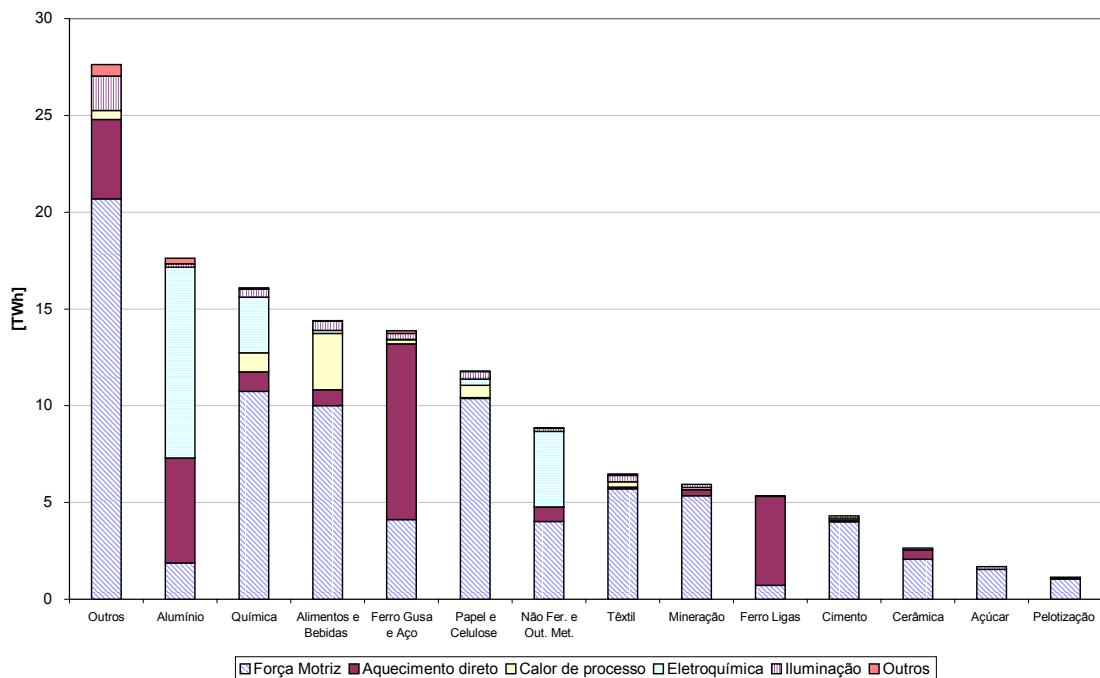


Figura 15 - Consumo de eletricidade na indústria por setor e uso final

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002) para o ano de 2001 e estrutura do BEU 93 (MME, 1995).

Força motriz predomina em todos os setores, exceto aqueles que usam eletrotermia e eletrólise de forma intensa: ferro-gusa e aço, ferro-ligas e alumínio. A Figura 16 mostra o mesmo resultado, olhado de forma inversa. Aparece, então, o predomínio da força motriz, razoavelmente distribuída pelos diversos setores. Nessa projeção, os motores elétricos respondem por 60% da eletricidade consumida na indústria.

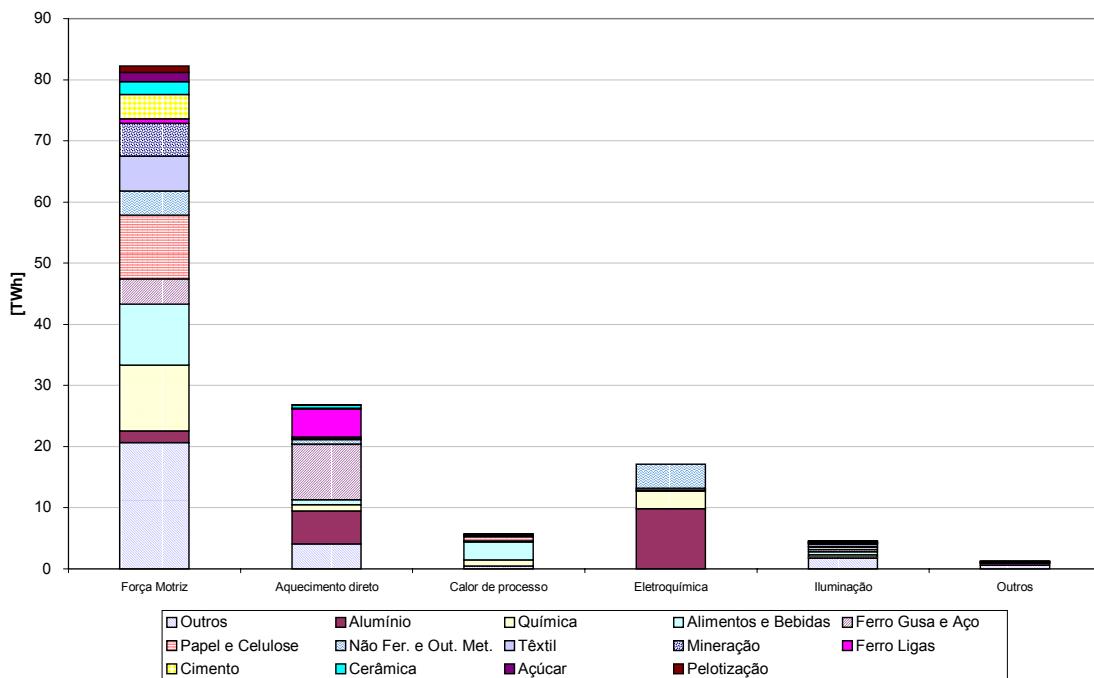


Figura 16 - Consumo de eletricidade na indústria por uso final e setor

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002) para o ano de 2001 e estrutura do BEU 93 (MME, 1995).

Estima-se, portanto, que motores elétricos na indústria brasileira consumam 82.217 GWh/ano, que equivalem a 60% da eletricidade consumida no setor secundário e 27% do consumo brasileiro (vale lembrar que motores são usados também nos outros setores, o que eleva a sua participação). Em relação à energia total, consomem 2.924 ktep/ano²¹, significando 5% da indústria e 1,7% do total da energia consumida no país.

3.4 Potencial de conservação de energia

Não há dúvidas que existe um bom potencial de conservação de energia na indústria brasileira. Geller (2003, p. 171) afirma que o Brasil “teve algum sucesso em aumentar a eficiência no uso da eletricidade [...], porém muitas indústrias [...] ainda desperdiçam energia por causa de processos industriais ineficientes, equipamentos [...]. Por exemplo, os motores usados no Brasil são ineficientes pelos padrões internacionais, assim como sobredimensionados e mal operados em muitos casos”.

²¹ 1 tep (tonelada equivalente de petróleo) é uma unidade de energia que equivale a 10.800 Mcal, ou 12,56 MWh (BEN, MME, 2002, p. 105).

No entanto, números exatos não estão disponíveis. O Procel, segundo Lopes e Lisboa (2001), está desenvolvendo um amplo Projeto de Eficiência Energética, onde uma das atividades será a criação de um centro de referência em eficiência energética²², com a “estruturação e manutenção de um banco de dados sobre eficiência energética” (LOPES e LISBOA, 2001, p. 3) incluindo a “identificação do potencial de conservação de energia [...] nos estados” (LOPES e LISBOA, 2001, p. 5). Neste capítulo, algumas estimativas são apresentadas como exemplo.

3.4.1 Metas do Procel

O Procel define como 11%²³ a meta de conservação de energia elétrica no uso final até 2015 “em função do aumento da eficiência energética nos aparelhos elétricos [...] utilizados”. O Plano Decenal 2001-10 (Eletrobras, 2002) mostra resultados mais modestos, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Metas do Procel

Ano	Conservação [GWh/ano]	Mercado 1 * [GWh/ano]	
1999	6.776		
2000	8.591	333.500	2,6%
2001	10.587	350.600	3,0%
2002	12.783	367.815	3,5%
2003	15.199	385.875	3,9%
2004	17.856	404.823	4,4%
2005	20.780	424.700	4,9%
2006	21.819	445.169	4,9%
2007	22.910	466.625	4,9%
2008	24.055	489.116	4,9%
2009	25.258	512.690	4,9%
2010	26.521	537.400	4,9%

* Mercado 1 representa a Tendência Histórica Recente.

Fonte: COMITÊ COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS - CCPE. Plano Decenal de Expansão 2001-10. Cap. 2 – Mercado de Energia Elétrica, p. 40 e 41. Disponível em: <http://www.ccpe.gov.br/Middle.asp>. Acesso em: 16.nov.2003.

²² “Eletrobrás planeja criar centro de referência em eficiência energética Centro, previsto para entrar em atividade em dois anos, terá a tarefa de formatar um banco de dados para centralizar projetos da área [...] feitas desde 1985[...]”. Cristiane Alvim, Em Foco in Canal Energia, 12.set.2003. Disponível em: <http://www.canalenergia.com.br>. Acesso em: 23.out.2003.

²³ PROCEL. Dados da instituição. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/procel1/1.htm>. Acesso em: 16.nov.2003.

O Sumário Executivo do Plano Decenal de Expansão 2003/12 (CCPE, 2002) corrige a projeção com os novos dados da economia, inclusive considerando os efeitos residuais do racionamento de 2001, mas não deixa claro quais seriam as metas de conservação de energia, embora a projeção de referência (CCPE, 2002, p.13) leve em “consideração [...] aumento da eficiência no uso da energia”.

3.4.2 Estimativas de Howard Geller (1994; 2003)

Um livro que se tornou básico na literatura de eficiência energética no Brasil, resultado de um trabalho que começou em 1983-4 e terminou em 1989-90, tendo sido a primeira edição, em inglês, publicada em 1991, foi “O Uso Eficiente da Eletricidade: Uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil”, de Howard Geller (1994).

Este livro destaca a eletricidade como “fator chave para impulsionar o desenvolvimento industrial brasileiro” (p. 1), aponta os problemas para garantir o seu suprimento com taxas de crescimento de consumo elevadas e destaca o uso da eficiência energética como estratégia para reduzir a “taxa de crescimento da eletricidade sem diminuir os bens e serviços oferecidos” (p. 8). Neste sentido, dá um panorama das ações possíveis, analisa seus aspectos técnicos e financeiros, barreiras para a implantação, políticas possíveis para derrubar ou mitigar essas barreiras e constrói alguns cenários possíveis de demanda e conservação de energia. Por este detalhamento mais aprofundado, estas medidas e projeções de potencial de conservação de energia serão comentadas neste trabalho. Recentemente, o mesmo autor publicou dois trabalhos importantes e também abrangentes, sendo um o livro “Energy Revolution: Policies for a Sustainable Future” (Geller, 2003), já comentado na introdução deste trabalho, em cujo capítulo 6 propõe 12 políticas, de âmbito nacional, para a construção de um “Cenário Limpo de Energia” no Brasil, também comentado no item 6.1, à página 107. Neste capítulo há também algumas estimativas de potencial de conservação de energia, que serão aqui relatadas. O outro, em colaboração com Schaeffer, R., Szklo, A. e Tolmasquim, M., um artigo na revista Energy Policy (GELLER et al., 2003), com a descrição das 12 políticas mencionadas, contendo, da mesma forma, estimativas de potencial.

Para o setor industrial, na publicação de 1994, foi considerado o resultado de cerca de 1.200 auditorias na área industrial (GELLER, 1994, p. 56), que apontou um potencial de 8 a 15% de redução de consumo. As principais recomendações incluíam:

a. **Medidas de baixo custo:** assim consideradas as com retorno médio de dois anos, embora de aplicação dubitável. Destacam-se:

- **O uso de lâmpadas ou luminárias mais eficientes:** no entanto, raramente esta medida tem retorno abaixo de dois anos, mormente na indústria, onde o custo da energia é mais baixo.
- **A substituição de motores superdimensionados:** uma das medidas mais comuns – cerca de 35% dos motores operavam com carregamento²⁴ abaixo de 60%, o que reduzia bastante sua eficiência. Não se cogita, estranhamente, de, ao substituir, o fazer por motor de alto rendimento.
- **A substituição de linhas sobrecarregadas:** Esta medida se justifica pelo aspecto da segurança, dificilmente sendo viável apenas pela economia de energia.
- **O ajuste ou a substituição de transformadores sobrecarregados:** provavelmente o termo correto seja subcarregado, situação mais comum na indústria. Em quaisquer das situações, também uma medida, em geral, não viável economicamente.
- **A correção do fator de potência baixo:** não representa economia de energia ativa significativa, embora economicamente viável, com retorno, em geral, abaixo de um ano.
- **A correção da corrente irregular em diferentes fases:** isto é devido, em geral, à diferença da reatância indutiva para circuitos com cabos unipolares (ver nota de rodapé 46, na página 57), cuja correção, em circuitos com longo tempo de instalação, não é trivial, embora cause perdas significativas.

²⁴ Carregamento, como será melhor abordado adiante, é a potência desenvolvida pelo motor em relação à potência nominal. Motores elétricos são máquinas que desenvolvem apenas a potência que lhes é demandada: assim, por exemplo, um motor de 50 cv pode acionar cargas de 0 a 50 cv. Acionar uma carga de 20 cv, por exemplo, é “confortável” para este motor, trabalhará a uma temperatura menor e terá uma vida útil maior. Em compensação, o seu rendimento cairá muito, ou seja, haverá um desperdício grande de energia.

- **A redução dos picos de carga:** esta medida tem mais efeito na redução da demanda, mas não economiza energia propriamente.
 - **O fornecimento de sistemas adequados de proteção:** medida de segurança.
 - **O aperfeiçoamento dos sistemas de transmissão entre motores e os equipamentos acionados.**
- b. **Motores eficientes:** à época do primeiro estudo de Geller, no final da década de 80, os motores de alto rendimento tinham sido lançados há pouco tempo. Os cálculos realizados indicavam um potencial de economia de 3% da eletricidade consumida no setor industrial (base de 1988 – tabela 21, p. 61), com uma suposição que os motores trifásicos abaixo de 200 cv seriam responsáveis por 80% do consumo do setor (o que parece razoável já que, apesar de muito consumirem, os motores acima de 100 cv representam 1,1% do total de motores trifásicos de indução vendidos no Brasil – ver Tabela 20 – Vendas de motores trifásicos no Brasil, à página 78). Em 2003 (GELLER, 2003, p. 173), fala em economia de 2 a 8%, dependendo do tamanho do motor, apenas com o estabelecimento de padrão de eficiência.
- c. **Controle de velocidade em motores:** embora reconhecendo a dificuldade da estimativa, chegou-se a cerca de 8% do consumo industrial.
- d. **Fornos e caldeiras elétricas:** com grande incerteza, estimou-se em 10% a redução de energia possível.
- e. **Iluminação:** o potencial estimado foi de 50%.
- f. **Processo eletrolítico:** o setor de alumínio estimou uma redução possível de 6,5%, e o setor de soda-cloro estava fazendo bastante progressos.
- g. **Cogeração:** a utilização conjunta de calor e geração de eletricidade pode levar a uma economia global de energia, além do aproveitamento de resíduos do processo, como bagaço de cana. Não é, entretanto, uma economia de eletricidade.

Baseado neste estudo, Geller projetou três cenários de consumo do setor industrial (cuja discussão não cabe neste estudo) e estima a economia de energia possível para os

anos de 2000 e 2010. A Tabela 6 resume as premissas e valores utilizados, os resultados obtidos e a aplicação deste método para a energia realmente consumida em 2001 (BEN, MME, 2002), a fim de se estabelecer um padrão de comparação. Os significados das colunas estão explicitados logo após a Tabela.

Tabela 6 – Estimativas de Geller

Medida	Eco-nomia	Parce-la	Aplicável a		Geller [TWh]		Custo [US\$/MWh]	BEN [TWh]		BEN	
			2000	2010	2000	2010		2001a	2001b	2001a	2001b
Medidas de baixo custo	10%	100%	50%	65%	8,6	15,6	15,0	6,9	9,0	5%	7%
Motores eficientes	7%	50%	60%	80%	3,2	5,6	14,0	2,9	3,9	2%	3%
Controle de velocidade	25%	50%	30%	40%	5,7	10,0	42,0	5,2	6,9	4%	5%
Fornos e caldeiras	10%	36%	67%	90%	4,1	7,8	11,0	3,3	4,5	2%	3%
Processo eletro-lítico	7%	60%	28%	28%	2,0	2,8	16,0	1,6	1,6	1%	1%
Iluminação	50%	4,2%	50%	65%	1,8	2,7	24,0	1,4	1,9	1%	1%
Total					25,4	44,4		21,3	27,7	15%	20%
					15%	19%					

Fonte: Elaboração própria, a partir de Geller (1994) e dados do BEN (MME, 2002) para 2001.

Na Tabela 6 as colunas significam:

Medida	Medida de eficiência considerada										
Economia	Percentual considerado de economia que a aplicação da medida proporciona.										
Parcela	Parcela do consumo de eletricidade atingível pela medida (por exemplo, motores significam 50% do consumo industrial).										
Aplicável a	Parcela das indústrias em que a medida pode ser aplicada até 2000.										
	2010 Parcela das indústrias em que a medida pode ser aplicada até 2010.										
Geller [TWh]	2000 Consumo anual reduzido segundo as premissas de consumo feitas para 2000.										
	2010 Consumo anual reduzido segundo as premissas de consumo feitas para 2010.										
Custo [US\$/MWh]	Custo específico da aplicação da medida.										
	2001a Redução de consumo aplicando-se as premissas para 2000 ao consumo efetivo de 2001.										
BEN [TWh]	2001b Redução de consumo aplicando-se as premissas para 2010 ao consumo efetivo de 2001.										
	2001a Redução de consumo aplicando-se as premissas para 2000 ao consumo efetivo de 2001.										
BEN	2001b Redução de consumo aplicando-se as premissas para 2010 ao consumo efetivo de 2001.										

Há algumas medidas que não foram consideradas, como, por exemplo, aquelas propiciadas por um **gerenciamento de energia**, com ações conhecidas como “monitoring and targeting”. Estas ações consistem em se instalar vários pontos de medição na

fábrica, de modo que os consumos individuais de um setor, ou até de uma máquina, possam ser monitorados. Estabelecem-se, então, consumos específicos kWh/kg ou peça produzida que possam, por se repetir ações e hábitos de uso mais eficientes, ser reduzidos mês a mês. Conseguem-se, assim, economias de 5 a 10%²⁵. De fato, apenas o consumo individual ser objeto de medição já propicia sua diminuição. No estudo de 2003 (GELLER et al., 2003, p. 7), Geller avalia que a adoção de metas de redução de índices de intensidade energética “melhorando práticas de gestão e operação, usando melhores equipamentos como motores de alto rendimento e variadores de velocidade [...] podem reduzir em 30% ou mais o uso da energia em um amplo espectro de indústrias energo-intensivas”. E, mais adiante: “supõe-se que esta política leve a 12% de redução do consumo de energia na indústria, sendo 20% pelo melhor uso da eletricidade”.

Há outra estimativa que pode ser deduzida do estudo de 2003 (GELLER et al., 2003, p. 11), com os resultados de uma projeção feita pelo MIPE²⁶, onde, para 2010, se consegue, no Cenário de Energia Limpa, uma redução no consumo industrial de 40 TWh para os 200 TWh projetados no cenário de referência (20%).

3.4.3 Balanço de Energia Útil

A estrutura do Balanço de Energia Útil (BEU) permite também estimar o potencial de conservação de energia. Embora já esteja defasado (o primeiro estudo foi com base em dados de 1983, o segundo 1993, seria esperado um neste ano ou no próximo), pelo rico detalhamento de sua estrutura, achamos pertinente incluí-lo neste trabalho.

O consumo de energia é dividido em uma matriz tridimensional, onde as dimensões são: o energético *i*, o setor de atividade *j* e o uso final *k*, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Estrutura do BEU

i Energético²⁷	j Setor	k Uso Final
1 Carvão metalúrgico	1 Alimentos e bebidas	1 Aquecimento direto
2 Carvão vapor	2 Açúcar	2 Calor de processo
3 Carvão vegetal	3 Cerâmica	3 Força motriz
4 Coque de carvão mineral	4 Cimento	4 Iluminação

²⁵ O site <http://www.actionenergy.org.uk> tem relatos de várias experiências com economias significativas.

²⁶ O MIPE – Modelo Integrado de Planejamento Energético (Tolmasquim e Szklo, 2000) é um programa desenvolvido no PPE, que modela a matriz energética brasileira a partir de uma análise tipo “bottom-up”.

²⁷ Há algumas variações nos energéticos listados, de menor importância.

i Energético²⁷	j Setor	k Uso Final
5 Eletricidade	5 Ferro gusa e aço	5 Eletroquímica
6 Gás	6 Ferro ligas	6 Outros
7 Gás natural	7 Alumínio	
8 Gasolina	8 Metais não ferrosos	
9 Glp	9 Mineração	
10 Lenha	10 Pelotização	
11 Óleo combustível	11 Papel e celulose	
12 Óleo diesel	12 Química	
13 Outras fontes primárias	13 Têxtil	
14 Outras fontes secundárias	14 Outros	
15 Outras fontes secundárias de petróleo		
16 Produtos da cana		
17 Querosene		

Fonte: BEU 1993, p. 4.

O BEU é um algoritmo, onde as entradas são:

- As energias finais E_{ij} , energético i aplicado ao setor j (dados provenientes do BEN – Balanço Energético Nacional);
- Para cada E_{ij} , as parcelas de utilização em cada uso final k , denominadas p_{ijk} (dados internos ao BEU);
- Para cada E_{ij} , o rendimento de transformação energia final – energia útil, r_{ijk} , denominado coeficiente de eficiência energética (dados internos ao BEU);
- Também para cada E_{ij} , o rendimento de referência, passível de ser atingido, rr_{ijk} (dados internos ao BEU).

Desta forma, mostra-se que a economia de energia possível é:

$$PEE_{ijk} = EF_{ij} \cdot p_{ijk} \cdot \left(1 - \frac{r_{ijk}}{rr_{ijk}}\right) \dots \text{Equação 4.1}$$

PEE_{ijk}	Potencial de economia de energia	[ktep]
EF_{ik}	Energia final do energético i , no setor j	[ktep]
p_{ijk}	Parcela da energia EF_{ik} no uso final k	[1]
r_{ijk}	rendimento da conversão energia final – energia útil	[1]
rr_{ijk}	rendimento da conversão de referência	[1]

Assim, o potencial de economia de energia no setor j será:

$$PEE_j = \sum_i \sum_k EF_{ij} \cdot p_{ijk} \cdot \left(1 - \frac{r_{ijk}}{rr_{ijk}} \right) \dots \text{Equação 4.2}$$

PEE_j	Potencial de economia de energia no setor j	[ktep]
EF_{ik}	Energia final do energético i , no setor j	[ktep]
p_{ijk}	Parcela da energia EF_{ik} no uso final k	[1]
r_{ijk}	rendimento da conversão energia final – energia útil	[1]
r'_{ijk}	rendimento da conversão de referência	[1]

E o potencial de economia do energético *i*:

$$PEE_i = \sum_j \sum_k EF_{ij} \cdot p_{ijk} \cdot \left(1 - \frac{r_{ijk}}{rr_{ijk}} \right) \dots \text{Equação 4.3}$$

PEE_i	Potencial de economia de energia do energético i	[ktep]
EF_{ik}	Energia final do energético i , no setor j	[ktep]
p_{ijk}	Parcela da energia EF_{ik} no uso final k	[1]
r_{ijk}	rendimento da conversão energia final – energia útil	[1]
r_{ijk}^*	rendimento da conversão de referência	[1]

Assim, aplicando-se novamente os números do BEN (MME, 2002), para o ano de 2001, à estrutura do BEU 93 (MME, 1995) – o que, evidentemente, não é o ideal mas é uma ordem de grandeza – tem-se um quadro da conservação de energias primária e secundária possível da indústria:

Tabela 8 – Potencial de economia de energia na indústria [ktep]

[ktep]	Cime nto	F.Gus a e A.	Ferr. Ligas	Mi- nera- ção	Pelo- tiza- ção	Alu- míni- o	N. Fer. e O.	Quí- mica	Al. e Beb.	Açú- car	Têxtil e C.	Pap.	Ce- râmi- ca	Ou- tros	Total
Vegetal															
Outras F. Sec.		21			9										30
Outras F. Sec. Pet.		329				68				185			0		582
Alcatrão			17												17
Total	551	1.573	109	16	259	98	57	229	92	812	14	239	8	113	4.169

Fonte: BEU 93 (MME, 1995) (com os dados de entrada do BEN (MME, 2002) para 2001).

Em termos percentuais, a Tabela 8 pode ser vista na Tabela 9:

Tabela 9 – Potencial de economia de energia na indústria [%]

[%]	Ci- men- to	F.Gus a e A.	Mi- nera- ção	Pelo- tiza- ção	Alum ínio	N. Fer. e O.	Quí- mica	Al. e Beb.	Açú- car	Têxtil e C.	Pap.	Ce- râmi- ca	Ou- tros	Total	
Gás Natural	16%	6%			17%										2%
Carvão Vapor	16%							1%	1%			9%			7%
Carvão Metalúrgico		12%	8%												12%
Lenha	16%						7%	3%		7%	9%				3%
Produtos da Cana							9%	1%	9%		9%				9%
Outras Fon- tes Prim.											5%				4%
Óleo Diesel	5%	5%		4%			3%	4%		3%	4%	4%	3%	4%	4%
Óleo Com- bustível	15%	5%			17%										3%
GLP		6%					0%	3%		0%	5%	0%	1%		1%
Querosene		6%													2%
Gás		6%													6%
Coq. de Carvão Min.		12%	8%		25%										12%
Eletricidade	1%	13%	17%	2%	2%	7%	8%	2%	3%	2%	2%	2%	4%	5%	5%
Carvão Vegetal	16%	12%	8%												12%
Outras F. Sec.	16%		8%												12%
Outras F. Sec. Pet.	16%			42%			9%				5%				11%
Alcatrão		6%													6%
Total	14%	11%	12%	1%	22%	4%	3%	4%	2%	9%	1%	4%	0%	3%	7%

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002) para 2001 e estrutura do BEU 93 (MME, 1995).

Um potencial de apenas 7% parece ser uma estimativa modesta. As economias são mais bem vistas nos setores que têm um processo com grandes volumes de material e equipamentos menos sofisticados – cimento, ferro gusa e aço, pelotização – que nos de tecnologia mais avançada – cerâmica, papel e celulose, química. Também nos energéti-

cos, vê-se mais nitidamente melhor aproveitamento nos que são usados intensivamente, geralmente em aquecimento direto – carvão, coque, etc. No entanto, economia de eletricidade, em menor escala, é verdade, é observada em todos os setores. Uma visualização deste potencial pelo uso final é mostrada na Tabela 10.

Tabela 10 – Potencial de economia de energia por uso final [ktep]

[ktep]	Força motriz	Calor processo	Aquec. direto	Iluminação	Eletroquímica	Total
Cimento	4		545	1		551
Ferro-Gusa e Aço	6		1.564	3	0	1.573
Ferro-Ligas	1		108	0		109
Mineração	10		4	1		16
Pelotização	1		257	0		259
Alumínio	2		36	2	58	98
Não Fer. e Out. Met.	3		5	1	48	57
Química	12	198		4	16	229
Alimentos e Bebidas	12		64	15	1	92
Açúcar	1	810		1		812
Têxtil	5	6		3		14
Papel e Celulose	12	222		3	2	239
Cerâmica	4		3	1		8
Outros	43		55	16		113
Total	116	1.236	2.642	52	124	4.169

Fonte: BEU 93 (MME, 1995) (com os dados de entrada do BEN (MME, 2002) para 2001).

Onde se pode notar que as grandes economias são vistas nos processos com grande uso de energia – aquecimento direto, principalmente, e calor de processo. Ao mesmo tempo, força motriz aparece pouco e sempre, totalizando 1,6% de economia total.

O método é questionável – não se pode reduzir o uso eficiente da energia ao rendimento dos principais equipamentos: a eficiência no uso de vapor, por exemplo, não se restringe à caldeira – há ganhos na distribuição, dimensionamento das linhas, isolamento térmico, purgadores, aproveitamento de condensado, só para citar os mais importantes, que não podem ser desprezados. Como se computar, por outro lado, o ganho com uso de conversor de freqüência para acionamento de motor impulsionando bomba centrífuga? Além do mais, onde entra o rendimento da bomba? De toda forma, como já se disse, é uma estimativa para se ter uma idéia da ordem de grandeza.

Considerando apenas os motores elétricos – energético eletricidade, uso final força motriz – o quadro geral gerado, já convertido em GWh, é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Potencial de economia em motores elétricos

[GWh]	Energia	Rendimento	Rend. Ref.	Economia
Outras indústrias	20.790	0,89	0,91	457 2,2%
Química	10.790	0,93	0,94	115 1,1%
Papel e Celulose	10.431	0,93	0,94	111 1,1%
Alimentos e Bebidas	10.061	0,93	0,94	107 1,1%
Têxtil	5.719	0,93	0,94	61 1,1%
Mineração	5.381	0,93	0,94	57 1,1%
Ferro-Gusa e Aço	4.137	0,93	0,94	44 1,1%
Não Fer. e Out. Met.	4.028	0,93	0,94	43 1,1%
Cimento	4.008	0,93	0,94	43 1,1%
Cerâmica	2.069	0,89	0,91	45 2,2%
Alumínio	1.881	0,93	0,94	20 1,1%
Açúcar	1.552	0,93	0,94	17 1,1%
Pelotização	1.046	0,93	0,94	11 1,1%
Ferro-Ligas	724	0,93	0,94	8 1,1%
Total	82.618	0,92	0,94	1.138 1,4%

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (MME, 2002) para 2001 e estrutura do BEU 93 (MME, 1995).

Os rendimentos foram assim considerados (BEU 93 (MME, 1995), p. 73):

Tabela 1 - Rendimentos e Aplicações de Motores Elétricos

Capacidade (Potência em CV)	Setores de Aplicação	Rendimento		
		83	93	Referência
Pequenos P ≤ 5	A	0,62	0,76	0,81
Médios 5 < P ≤ 50	B	0,86	0,89	0,91
Grandes p > 50	C	0,90	0,93	0,94

Fonte: Processamento FDTE

Setores:

A - Residencial, Transporte Rodoviário.

B - Comercial, Público, Agropecuário, Transporte Aéreo, Transporte Hidroviário, Cerâmica e Outros Setores Industriais.

C - Energético, Ferro Gusa e Aço, Ferro Ligas, Transporte Ferroviário, Mineração, Pelotização, Minerais não Ferrosos, Química, Açúcar, Alimentos e Bebidas, Têxtil, Papel e Celulose e Cimento.

Os rendimentos expressos na tabela referem-se, respectivamente, à versão de 1983 do BEU, a de 1993 e aos valores de referência, tidos como passíveis de ser atingidos. Esses valores são muito altos por duas razões principais:

- Os rendimentos considerados são nominais, ou seja, aparecem quando o motor opera a plena carga, o que, se verá adiante, é difícil acontecer;
- As indústrias que têm motores grandes, têm também, e em muito maior número, motores pequenos, o que acaba pesando no rendimento médio.

O que se pretende é que este trabalho verifique, para alguns casos levantados diretamente no chão-de-fábrica, se as hipóteses são razoáveis e o que a Lei de Eficiência Energética pode acrescentar ao quadro.

3.4.4 Resumo das estimativas

A Tabela 12 sintetiza as diversas estimativas de potencial de conservação de energia elétrica apresentadas.

Tabela 12 – Resumo das estimativas de potencial de conservação de EE*

<i>Referência</i>	<i>Base</i>	<i>Estudo</i>	<i>Estimativa</i>
1 Metas do Procel	Economia a atingir em 2010	Procel (site)	11% no uso final
2 Metas do Procel	Economia a atingir em 2010	Plano decenal 2001-10	5% do cenário de tendência recente
3 Geller 1994	Consumo industrial EE	Geller 1994	8 a 15%
4 Geller 1994	Consumo industrial EE	Aplicação de motores de alto rendimento	3%
5 Geller 1994	Consumo industrial EE	Medidas de baixo custo	7%
6 Geller 1994	Consumo industrial EE	Motores eficientes	3%
7 Geller 1994	Consumo industrial EE	Controle de velocidade em motores	5%
8 BEU	Consumo industrial EE	Economia em eletricidade	5%
9 BEU	Consumo em força motriz por eletricidade	Economia em motores elétricos	1,4%
10 Geller 2003	Consumo energético industrial	Metas de intensidade energética	12%
11 Geller 2003	Consumo energético industrial	Redução de energia elétrica	2,4%
12 Geller et al., 2003	Consumo industrial EE em 2010	Cenário de Energia Limpa	20%

* EE: energia elétrica.

Fonte: Estudos apresentados no item 3.4.

Pode-se dizer, portanto, que existe um potencial de conservação de energia elétrica na indústria que pode passar de 10%, chegando talvez a 20%, onde os motores elétricos têm papel importante.

3.5 Esforços de realização do potencial de conservação de energia

3.5.1 Barreiras à implementação

Delgado (1996, p. 2-5) mostra bem que o “uso eficiente da energia demonstra-se atrativo nos aspectos ambientais, econômicos, sociais, estratégicos e comerciais”. Ob-

serva, porém, que “os resultados dos programas e ações de conservação de energia têm sido tímidos” (Ibid., p. 5).

A razão para isto é a existência de diversas barreiras²⁸: tecnológicas, culturais, econômicas, financeiras e institucionais, que serão brevemente mencionadas para se possa entender o contexto da análise dos esforços feitos para superá-las.

- a. Tecnológicas:** disponibilidade de equipamentos eficientes a custo competitivo; defasagem da indústria nacional.
- b. Culturais:** falta de conhecimento das técnicas de uso eficiente; decisão de compra pelo custo do equipamento e não do seu ciclo de vida; tendência ao desperdício.
- c. Econômicas:** tarifas artificialmente baixas²⁹; juros elevados³⁰; incerteza quanto à evolução dos preços da energia.
- d. Financeiras:** falta de um modelo definido de financiamento para os “contratos de *performance*”³¹, aceito pelos bancos.
- e. Institucionais:** responsabilidade dividida (Geller, 1994, p. 81)³²; falta de mercado³³.

Cabe, neste passo, examinar os esforços realizados para incrementar o uso eficiente de energia até hoje.

²⁸ Para um estudo completo das barreiras, ver Raad (1999) e Delgado (1996).

²⁹ Esta foi uma política governamental, nas décadas de 70 e 80, para tentar controlar a inflação (Delgado, 1996, p. 42), e de subsidiar a indústria através de tarifas especiais para consumidores em alta tensão e fabricantes de alumínio (Geller, 1994, p. 79). Mesmo com o novo modelo do setor, as tarifas industriais subiram 119% de 1995 a 2002, enquanto as residenciais aumentaram 174% (ABRADEE, 2003).

³⁰ Uma ação em eficiência energética é sempre um investimento, seja em equipamentos, instalações, treinamento ou prática de manutenção, que deve ser pago, ao longo do tempo, com a redução da despesa com energia. Os juros médios ao tomador estão em 83% aa, “taxas entre as maiores do mundo”. (BANCO CENTRAL DO BRASIL. DEPEP. Juros e Spread Bancário no Brasil. Brasília, DF. Out.1999. Disponível em: <http://www.bacen.gov.br/ftp/juros-spread1.pdf>. Acesso em: 20.nov.2003).

³¹ Contrato de *performance*, que se comentará adiante, envolve o proprietário da instalação, uma ESCO e um agente financeiro e permite que um investimento em eficiência energética seja realizado e remunerado pela economia que proporciona.

³² Isto se dá quando quem compra, interessado no menor custo de aquisição, não será quem opera, interessado no menor custo de operação – caso, por exemplo, da iluminação ou ar-condicionado do imóvel alugado, ou, bem grave, da dificuldade para a construção de prédios eficientes.

³³ Esta barreira entra em círculo vicioso com a falta de disponibilidade de equipamentos eficientes no mercado.

3.5.2 Histórico

3.5.2.1 Preâmbulos

A década de 1970 é sempre o marco inicial nos estudos sobre eficiência energética. Os choques do petróleo alertaram para uma possível escassez futura de energia. Concomitantemente, cresceu a preocupação com o meio ambiente, que é negativamente impactado pelo uso da energia, notadamente na emissão de gases de efeito estufa.

A esta época, o Brasil crescia a taxas elevadas, como observa Almeida (2001, p. 16), não só em termos econômicos, mas também em consumo energético. A opção brasileira, que pode ser vista no II PND – Plano Nacional de Desenvolvimento, de 1975 (VERDE, 2000, p. 12-13), foi continuar crescendo, em especial o setor elétrico, a 12% ao ano, com aumento da capacidade a 10%, incluindo a construção de Itaipu. Esta estratégia visava aproveitar um nicho de mercado internacional, com o deslocamento de indústrias eletrointensivas para os países periféricos, e nossas reservas de metais, especialmente da Amazônia (Geller, 1994, p. 118).

Como resultado, o consumo de petróleo continuou também crescendo e à custa de importação: em 1979, à época do segundo choque, 85% do petróleo era importado (ALMEIDA, 2001, p. 16). As primeiras ações de eficientização foram, portanto, no sentido de diminuir estas importações – foram fixadas metas de redução e protocolos estabelecidos com as indústrias de cimento, ferro e aço e papel e celulose para diminuição do uso de óleo combustível em troca de empréstimos e outras facilidades do governo.

Em 1981, esta ação foi estendida aos demais setores industriais, através do CONSERVE – Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial. Este programa lançou no setor as primeiras preocupações com eficiência energética, realizou diagnósticos, implementou 40% destes que apontavam para uma redução de 1,75 Mtep/ano, infelizmente mais focada em substituição de energéticos do que em eficiência energética (ALMEIDA, 2001, p. 18). Para isto concorreu também a implantação da EGTD – Energia Garantida por Tempo Limitado, com subsídio à energia elétrica para substituir derivados de petróleo, já que sobrava energia elétrica devido à entrada em operação de grandes centrais. Caldeiras e fornos elétricos foram implementados – construía-se uma mentalidade de energia elétrica, de origem hídrica, abundante e barata enquanto a perspectiva do petróleo era atingir até 100 dólares o barril na virada do século.

3.5.2.2 O Procel

Em 1985-6, altera-se a sinalização: baixam-se os preços do petróleo, reduz-se a capacidade de expansão do setor elétrico por causa das baixas tarifas e juros do mercado internacional. É preciso economizar eletricidade. É criado, então, o PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, cuja ação vai realmente implementar o uso eficiente da energia elétrica no Brasil³⁴.

As atividades do Procel são normalmente divididas em duas fases: até 1991 e após 1993 – há uma fase intermediária, em que a sua atuação foi mais apagada, como relata Villa Verde (2000, p. 15-16). Na fase inicial, organizou-se a infraestrutura necessária ao programa de etiquetagem (ver item 2.1 - Os Programas de Etiquetagem e Padronização, na página 5), realizaram-se diagnósticos energéticos e programas informativos e educacionais. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados do Procel (1^a fase)

Período	1986-93
Redução de Carga na Ponta (MW)	149
Energia Total Economizada(GWh/ano)	930
Usina Equivalente (MW)	220
Investimento (milhão US\$)	20*
Investimento evitado (milhão US\$)	600*

* Estimativas, a partir de Geller (1994, p. 84)

Fonte: BEN 98. **Economia & Energia**, [S.I.], no 9, ano II, jul.ago.1998. Disponível em: <http://www.ecen.com/eee9/procel6.htm>. Acesso em: 25.ago.2003.

Tratam-se de resultados, portanto, bastante promissores. A partir de 1993, o Procel foi reestruturado e passou a contar com recursos da RGR – Reserva Global de Reversão, cerca de US\$20 milhões para financiar projetos de eficiência energética (GELLER, 1998, apud ALMEIDA, 2001, p. 22). O Procel estendeu a sua área de atuação, chegando aos resultados da Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados do Procel (2^a fase)

Resultados no período	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Investimentos aprovados (R\$ milhões) *	10	30	50	122	50	40	26
Energia economizada/geração adicional (GWh/ano)	344	572	1.970	1.758	1.909	1.862	2.300
Redução de demanda na ponta (MW)	70	103	293	976	532	418	640

³⁴ Almeida (2001, p. 20, nota 16) observa que as ações de etiquetagem surgiram em 1984, anteriores ao Procel.

Resultados no período	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Usina equivalente (MW)**	80	135	430	415	440	420	530
Investimento evitado (R\$ milhões)	160	270	860	830	880	840	1.060

* Não incluindo os custos com pessoal da Eletrobrás/Procel e incluindo os recursos da RGR
** Obtidas a partir da energia economizada e geração adicional, considerando um fator de capacidade típico de 56% para usinas hidrelétricas e considerando 15% de perdas médias na Transmissão e Distribuição para a parcela de conservação de energia

Fonte: Procel. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/procel/1.htm>. Acesso em: 26.ago.2003.

Até 1996 (GELLER et al, 1998, p. 861), 43% da energia conservada foi resultado da introdução no mercado de refrigeradores e *freezers* mais eficientes, 22% em melhorias em iluminação, 15% como resultado de diagnósticos, estudos setoriais, seminários e prêmios, 7% de projetos em motores e 1% de programas educacionais.

O Procel atua em diversos setores, tanto do lado da oferta, com ações de eficientização em geração, transmissão e distribuição, como do lado da demanda, junto aos fabricantes de equipamentos e usuários de energia elétrica (setores industrial, comercial, prédios públicos, iluminação pública, água e saneamento, gestão municipal e residencial). O grupo de trabalho ANEEL/ANP (ANEEL/ANP, 1999, p. 63), no entanto, afirma que “o segmento consumidor onde a atuação do Procel tem sido mais precária, em termos resultados quantitativos observáveis e economicidade dos projetos, é o industrial”.

O Procel executa também ações de *marketing*, onde se destacam o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, com diversas categorias - Transportes, Setor Energético, Imprensa, Micro e Pequenas Empresas e Indústria, e o Selo Procel, que premia os equipamentos que melhor desempenho energético apresentaram em sua categoria e serve de diferencial de mercado, tendo grande aceitação após o racionamento de 2001 – a sua marca, mostrada na Figura 17, já é bastante conhecida do consumidor³⁵.

³⁵ “O consultor de informática Luís Fernando Rocha, de 24 anos, nunca se preocupou em verificar selos de eficiência energética na hora de comprar aparelhos eletrodomésticos. Mas, com o racionamento de energia, mudou de hábito. Recém-chegado ao Rio de Janeiro, ele está pesquisando os melhores preços e os produtos que consomem menos energia para equipar sua casa. Começou pela geladeira”. Villela, J. **Consumidores alteram hábito**, Jornal do Brasil, 12.nov.2001. Disponível em: <http://jbonline.terra.com.br>. Acesso em: 6.out.2003.



Figura 17 – Selo Procel de Economia de Energia

Fonte: Procel. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/procel/10.htm>. Acesso em: 26.ago.2003.

Teve também, até há pouco tempo, ação decisiva na parceria com a Aneel para o estabelecimento do plano anual das concessionárias de energia elétrica de eficiência energética, do qual se falará em seguida, no item 3.5.2.3.

O Procel participa, direta ou indiretamente, de quase todas as ações em eficiência energética em eletricidade. Além disso, como salienta Geller (2003, p. 104-105) contribuiu para o desenvolvimento de várias novas tecnologias, como limitadores de demanda, controladores de iluminação, reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes e aquecedores solares; apoiou o desenvolvimento da indústria de ESCOs e treinou gerentes de energia e outros profissionais; reduziu o risco de racionamento de energia elétrica, embora não o suficiente para evitar o de 2001.

Não teve, estranhamente, ação destacada durante o período do racionamento de 2001³⁶. Viveu períodos de maior atividade, como 1993-98, e períodos de recessão, como o atual, quando o aparente excesso de oferta de energia elétrica põe a eficiência energética fora da pauta. Esta “ciclotimia” sinaliza de forma confusa para o mercado, que precisa entender a condição estrutural da questão do uso eficiente da energia³⁷.

³⁶ “PROCEL sofreu alguns empecilhos entre 1999 e 2001, no entanto, quando a diretoria do programa mudou, a equipe foi reduzida e o orçamento cortado”. (GELLER, 2003a, p. 105).

³⁷ “Os Programas de Eficiência Energética no Brasil não têm sido priorizados continuamente ao longo do tempo, haja visto a crise energética que se instala no País em 2001. Isso ocorre por motivos políticos, institucionais, entre outros. A descontinuidade dos programas e metas mostram que as prioridades não são institucionais ou nacionais e sim derivadas de projetos políticos conjunturais” (Menkes, 2003).

Geller (2003, p. 105-106) sumariza a atuação do Procel como demonstrativa que um programa nacional de eficiência energética pode ter sucesso quando fortemente apoiado e financiado pelo Governo, trabalha em colaboração com o setor privado e outras instituições e objetiva tanto o desenvolvimento tecnológico quanto do mercado, mas mostra também a importância e a dificuldade de se manter um programa governamental de eficiência energética a longo prazo.

3.5.2.3 O Programa de Eficiência Energética

Talvez mais conhecido pelo seu nome anterior “Programa Anual de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica”, resultou de uma ação do Procel que incluiu nos contratos de concessão de distribuição de energia elétrica a obrigatoriedade do investimento de 1% de sua receita anual operacional (Resolução Aneel 242, de 24 de julho de 1998). Desde então, este programa tem passado por diversas reformulações e abordagens³⁸.

A Aneel está apurando os resultados obtidos com os programas. Uma primeira avaliação está na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados dos Programas de Eficiência Energética

Ciclo	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	Total
Empresas	17	42	64	64	
Investimento [MR\$]	126	230	165	185	706
Economia [GWh/a]	755	1.020	1.932	2.166	5.873
Demanda na ponta [MW]	250	370	496	556	1.672
R\$/MWh [R\$/MWh]	16,69	22,55	8,54	8,54	12,02
Usina [MW]	177	239	453	508	1.377
Investimento evitado [MR\$]	354	478	906	1.016	2.754
Investimento evitado / Investimento [1]	2,8	2,1	5,5	5,5	3,9

Fonte: FROTA, 2002.

A tabela mostra que o programa foi quatro vezes mais rentável que o investimento em geração.

As áreas de investimento têm sido: comercial / serviços; industrial; residencial; educação; gestão energética municipal (GEM); iluminação pública; poderes públicos; serviços públicos; rural; aquecimento solar para substituição do chuveiro elétrico; diag-

nóstico energético; incentivo à compra de equipamentos eficientes (os dois últimos estão excluídos a partir do ciclo 2002/03).

A área preferida tem sido a iluminação pública, em convênio com as prefeituras, principalmente usando-se a lâmpada a vapor de sódio, indicada para este tipo de serviço, com uma eficiência muito melhor que as a vapor de mercúrio (embora com grande distorção de cores, o que impede a sua utilização em muitos locais). Segundo Jannuzzi (2002, p. 1484), foram investidos em iluminação pública 50% dos investimentos regulados no ciclo 1998/99, 57,2% no ciclo 1999/00 e 29,7% em 2000/01, quando 52,5% foram para o setor residencial, boa parte em distribuição de lâmpadas fluorescentes compactas para população de baixa renda. A área industrial, pela sua maior dificuldade e falta de mão-de-obra especializada, tem sido pouco contemplada, embora tenha grande potencial. Schaeffer (2001, p.11), analisando os projetos do ciclo 1998/99, afirma:

“Foram em sua maior parte dedicados inicialmente à realização de diagnósticos, não havendo a efetiva aplicação das medidas recomendadas nos diagnósticos. De modo geral, em relação ao seu potencial de economias, o setor industrial não foi bem contemplado nos Programas, e os resultados dos projetos apresentados ficaram muito abaixo da expectativa”.

Este Programa é, hoje, o principal vetor de eficiência energética no Brasil. No entanto, não é pacífico que seja a melhor forma de otimizar, do ponto de vista da sociedade, os investimentos em eficiência energética, como salienta Jannuzzi:

“No entanto, a criação de mecanismos regulatórios ou legislativos não é suficiente para garantir que os recursos estão sendo canalizados para atividades que realmente consideram a maximização de interesse público e do potencial existente. Desde algum tempo temos argumentado que não se trata de delegar aos agentes privados a tarefa de promoção de atividades como eficiência energética e P&D como foi a estratégia adotada após 1995, com a gradativa deterioração do PROCEL, especialmente após 1998.” (JANNUZZI e GOMES in IX CBE, p. 1477-1478).

³⁸ Para a descrição das diversas mudanças regulatórias, ver HADDAD, J. Uso Eficiente de Energia: dos Incentivos Regulatórios Recentes até a Atual Lei de Eficiência Energética. In **IX Congresso Brasileiro de Energia**. Anais, p. 1499-1504. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

4 MOTORES ELÉTRICOS

Este capítulo aborda a análise tecnológica dos motores elétricos usados na indústria, incluindo: características construtivas, de funcionamento, as causas de baixa eficiência, como se faz o seu dimensionamento; o que é um motor de alto rendimento, sua aplicação e, finalmente, como se avalia a troca de um motor e como se otimiza um investimento em motores de alto rendimento em uma fábrica.

4.1 Motores na indústria

As atividades fabris requerem, em princípio, um motor robusto, de alta confiabilidade, boa eficiência, que reaja bem a variações de carga, com baixo custo. Alguns processos requerem variação de velocidade, com um bom controle. Ademais, algumas áreas, classificadas como áreas perigosas, exigem um equipamento que não provoque centelhas.

Há máquinas que existem em praticamente qualquer tipo de indústria: bombas para movimentação de líquidos, compressores e ventiladores para gases. Fábricas de alimentos e bebidas possuem bastante máquinas operatrizes, que movimentam e executam operações com latas, garrafas e outros objetos – são geralmente motores pequenos, algumas vezes de construção específica para sua tarefa. A indústria têxtil também possui máquinas dedicadas, tanto para fiação como tecelagem, de tecnologia secular. Os setores de cimento, papel e celulose, químico, têm grande número de bombas, compressores e ventiladores, assim como grandes esteiras transportadoras, moinhos, agitadores, peneiras – há muitos motores grandes, mas com boa incidência de motores pequenos para os serviços auxiliares. Cerâmicas possuem grandes misturadores, sopradores e muitas esteiras transportadoras. 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 que melhor tem se adaptado – e o tem muito bem – a estes serviços é o motor de indução trifásico, com rotor em gaiola de esquilo. De construção bastante robusta, sem partes fiscantes, com rendimento na casa de 90% (ver Tabela 2 – Rendimentos pela Lei da Eficiência Energética), exigindo quase nenhuma manutenção, bara-

to, tem poucas desvantagens: não varia a velocidade, operação degradada em baixa carga (baixos rendimento e fator de potência), alta corrente de partida (AMERICO, 2003). O maior obstáculo em aplicações foi, até há cerca de vinte anos, a variação de velocidade, quando perdia muito para o motor de corrente contínua (este, entretanto, é um motor caro, delicado, que exige muita manutenção e cuidado). A solução veio com o avanço da eletrônica de potência, que produziu os conversores de freqüência, equipamentos que convertem a corrente alternada da rede de freqüência fixa (no Brasil, 60 Hz) em variável (que pode ir de 6 a 120 Hz). Adicionalmente, esta aplicação pode também servir para economizar energia (AMERICO, 2003; FILIPPO FILHO, 2002).

4.2 Características do MITRGE

O MITRGE (motor de indução, trifásico, rotor em gaiola de esquilo) responde por 75% dos motores existentes no Brasil (AMERICO, 2003). Na indústria, devido à utilização de motores de maior porte (dos 25% restantes, grande número se constitui de motores menores que 1 cv, monofásicos, com aplicação em equipamentos residenciais como geladeira, ar-condicionado, máquina de lavar, ventiladores, etc.) este número é seguramente maior, razão para nos atermos a ele.

4.2.1 Constituição física

Sua construção básica é mostrada na Figura 18, onde foi feito um corte para visualização das partes interiores.

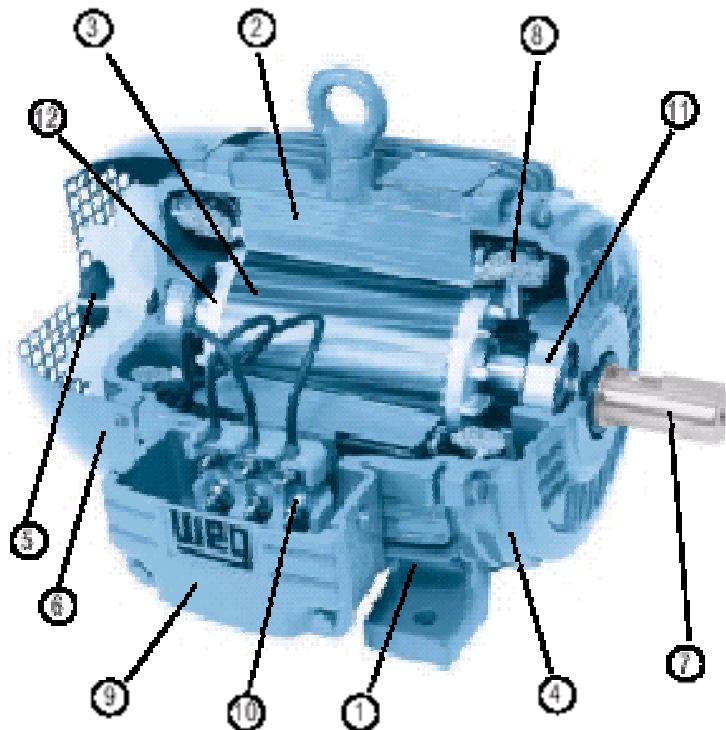


Figura 18 – O Motor de Indução Trifásico com Rotor em Gaiola de Esquilo

Fonte: WEG. Catálogo de Motores Elétricos. Jaraguá do Sul – SC, 2003. Disponível em <http://www.weg.com.br/>. Acesso em: 1.jul.2003.

Os principais componentes são, seguindo a numeração da Figura 18:

Ref.	Nome	Características
	Estator	Parte estática do motor, constituído de:
1	Carcaça	Geralmente em ferro fundido, sustenta todo o conjunto. Nesta dissertação, falaremos dos motores construídos em carcaça padrão, que são todos os motores com construção não específica.
2	Núcleo do estator	Chapas de aço, as de boa qualidade em ferro-silício, isoladas e prensadas, destinadas a fazer circular o campo magnético do estator. O núcleo contém ranhuras, onde está inserido o
8	Enrolamento trifásico	Bobinas em fios de cobre isolado, ligadas à rede trifásica, onde circula a corrente do motor, que produz o campo magnético. Há três bobinas, uma para cada fase, iguais e defasadas geometricamente dentro do estator em 120°.
	Rotor	Parte girante do motor, que transmite o movimento à carga, constituído de:
7	Eixo	Em aço, transmite a potência mecânica à carga. É a parte mais robusta do motor.
3	Núcleo do rotor	Chapas de aço, em tudo semelhantes às do estator, completa o circuito magnético criado no estator. Possui também ranhuras com inserção das
12	Barras e anéis de curto-círcuito	Em alumínio, são as “bobinas” do rotor. Fechadas em ambos os lados por anéis, chamados de curto-círcito, formam a gaiola de esquilo. Nelas circulam as correntes do rotor e onde é desenvolvida a força motriz.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Princípio de funcionamento

Todo motor elétrico funciona a partir da propriedade de a corrente elétrica gerar um campo magnético e este, quando varia em relação a um condutor, provocar neste último uma corrente elétrica. A grosso modo, formam-se dois ímãs, um no estator e outro no rotor, cuja interação provoca o movimento do motor.

No motor trifásico, a distribuição das bobinas das três fases no estator, defasadas de 120° , faz com que a soma dos campos magnéticos provocados por cada uma delas seja um campo uniforme e girante³⁹. Este campo circula nos núcleos magnéticos do estator e do rotor, provocando nas barras do rotor uma circulação de corrente⁴⁰. Esta corrente rotórica gera, por sua vez, um campo magnético que tende a opor-se ao movimento que o gerou (Lei de Lenz, como explica Kosow (1982, p. 300)), de pólos opostos ao do estator. O resultado é que o campo do estator *arrasta* o rotor girando, entretanto, sempre a uma velocidade maior do que este⁴¹ - o rotor *escorrega* em relação ao campo girante.

Quando uma carga é colocada no eixo do motor, o rotor reduz a sua velocidade, aumentando o *escorregamento*. Segue-se uma sucessão de eventos: aumenta a velocidade com que o campo magnético corta as barras do rotor – aumenta a corrente do rotor – aumenta o campo magnético gerado pelo rotor – diminui o campo magnético total – aumenta a corrente no estator – aumenta a potência elétrica fornecida ao motor. O motor, portanto, se auto-regula para atender à carga no eixo: se aumenta a carga, diminui a rotação, aumenta a corrente do motor e aumenta a potência elétrica fornecida⁴².

Dependendo da forma como são dispostas as bobinas do estator, podem-se formar apenas dois pólos (KOSOW, 1982, p. 298-299), um norte e um sul, ou quatro, seis, oito, para citar os mais comuns, como na Figura 19.

³⁹ Para a descrição completa do funcionamento do motor de indução, ver Filippo Filho (2000).

⁴⁰ Daí o nome motor de indução porque, ao contrário de outros motores onde a corrente do rotor é injetada do exterior através de anéis fixados ao eixo, a corrente do rotor é induzida pelo campo magnético formado no estator.

⁴¹ Na verdade, se as velocidades de campo magnético e rotor se igualarem, o campo não mais varia nos condutores do rotor e o efeito motor cessa. Por este motivo, este motor também é chamado de *assíncrono*.

⁴² Ocorrem também outros dois fenômenos, mais complicados, que terão importância neste trabalho: aumenta o fator de potência e aumenta o rendimento. Para explicação técnica mais detalhada, ver Kosow (1982).

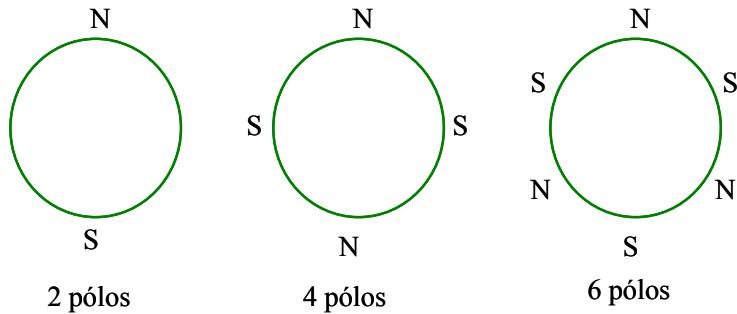


Figura 19 – Polaridade de um motor de indução

Fonte: Elaboração própria.

Quando, então, a corrente de alimentação completa um ciclo ($1/60 \text{ Hz} = 16,7 \text{ ms}$), o campo vai de “norte a norte”. Em um segundo, o campo no motor de 2 pólos dá 60 voltas, no de 4, 30 voltas, no de 6, 20 voltas e assim por diante, o que corresponde, em rotações por minuto (rpm), a 3.600, 1.800 e 1200 rpm.

4.2.3 Características de funcionamento

4.2.3.1 Variáveis

São diversas as grandezas que variam na operação de um motor. Para o objetivo central desta dissertação, interessarão as da Tabela 16.

Tabela 16 – Grandezas de um motor de indução

Grandeza	Símbolo	Unidade	Descrição
Potência mecânica	P_{mec}	cv	Potência fornecida no eixo do motor.
Potência elétrica	P_{el}	kW	Potência fornecida ao motor.
Torque	T	Nm	Torque (conjulado) desenvolvido no eixo do motor.
Rotação	N	rpm	Rotação do eixo do motor.
Corrente	I	A	Corrente absorvida da rede elétrica pelo motor.
Tensão	E	V	Tensão da rede que alimenta o motor (tensão entre fases).
Fator de potência	fp	1	Atraso da corrente em relação à tensão, medido pelo cosseno do ângulo de atraso ⁴³ .
Rendimento	η	1	Relação entre a potência mecânica e potência elétrica.

⁴³ Quando uma tensão alternada alimenta uma bobina, a corrente produzida gera um campo magnético que, pela lei de Lenz, tende a retardar a variação da corrente. Este retardo reduz a transferência de potência possível. A relação entre a potência transferida (ou ativa) e a disponível (ou aparente) é chamada de “fator de potência”.

Grandeza	Símbolo	Unidade	Descrição
Carregamento	γ	1	Relação entre a potência fornecida e a potência nominal do motor.

Como foi dito, estas grandezas variam conforme a carga solicitada no eixo do motor. Duas situações limites servem para caracterizar a sua *performance*:

- **Carga nominal:** corresponde à carga calculada para o dimensionamento do motor, ou seja, 100% de carga. Serve também para identificá-lo: por exemplo, um motor de 50 cv é aquele que foi calculado para fornecer 50 cv de potência mecânica no seu eixo. Todas as valores de grandezas constantes em sua placa de identificação referem-se à condição nominal.
- **Carga a vazio:** acontece com o motor desacoplado de qualquer carga, correspondendo a 0% de carga. Algumas grandezas não valem zero nesta situação, como a corrente e a potência elétrica, mas são os valores mínimos possíveis; já a rotação assume o seu valor máximo, muito próximo da do campo girante.

Normalmente, o motor funciona entre as duas situações acima, podendo, eventualmente, funcionar acima da condição nominal, quando diz-se estar em sobrecarga.

A Figura 20 mostra a variação típica de algumas grandezas do motor de indução em relação à carga no eixo.

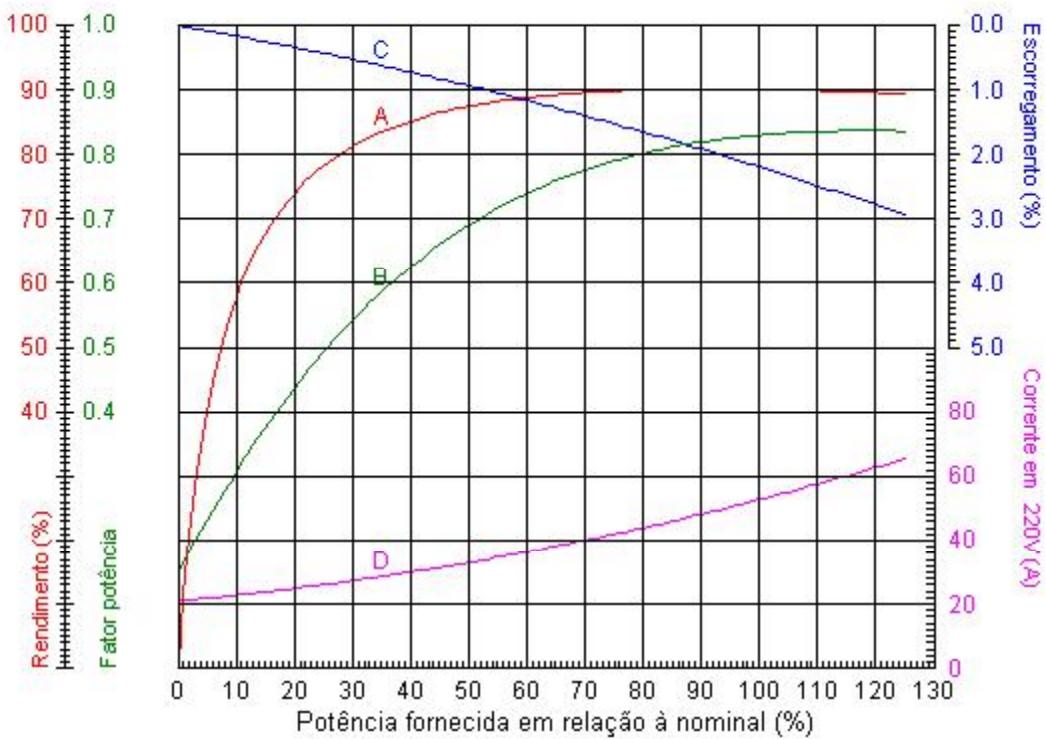


Figura 20 – Curvas de desempenho de um motor

Fonte: Catálogo WEG. Disponível em: <http://www.weg.com.br/>. Acesso em: 27.ago.2003.

- **A – rendimento:** acima de 75% de carregamento assume um valor praticamente constante. Entretanto, cai rapidamente abaixo de 50%, o que indica ser completamente ineficiente usar um motor com baixa carga (ou sobredimensionado).
 - **B – fator de potência:** Como o rendimento, é bem baixo para cargas baixas.
 - **C – escorregamento:** como se viu, o escorregamento é a velocidade relativa do rotor em relação ao campo girante, em termos percentuais. Praticamente zero a vazio, chega a um valor típico de 3% em carga nominal.
 - **D – corrente:** sai de um valor não-nulo a vazio, crescendo com a carga.

As relações entre as grandezas são:

$$\eta = \frac{P_{mec} \cdot 0,736}{P_{el}} \dots \text{Equação 5.1}$$

η	Rendimento	[1]
P_{mec}	Potência mecânica	[cv]
P_{el}	Potência elétrica	[kW]

$$P_{el} = E \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot fp \quad \dots \dots \dots \text{Equação 5.2}$$

P_{el}	Potência elétrica	[kW]
E	Tensão elétrica entre fases	[kV]
I	Corrente elétrica	[A]
fp	Fator de potência	[1]

$$\gamma = \frac{P_{mec}}{P_{nom}} \quad \dots \dots \dots \text{Equação 5.3}$$

γ	Carregamento	[1]
P_{mec}	Potência mecânica	[cv]
P_{nom}	Potência nominal	[cv]

4.2.3.2 Perdas

O motor elétrico é um conversor de energia elétrica em mecânica. Apesar de ser uma máquina eficiente, apresenta vários tipos de perdas, que, em geral, se dividem em perdas fixas, se não dependem do carregamento, e variáveis, se o fazem (ELETROBRAS, 199-). As perdas fixas são:

- a. **Perdas no ferro (núcleos):** são as perdas devido à circulação do campo magnético – por histerese e correntes parasitas. Dependem da freqüência da rede (60 Hz, no Brasil), da densidade do campo (quanto menos ferro, mais denso), da qualidade do aço (o aço silício é mais suscetível ao campo magnético), da espessura e isolação das chapas. Representam de 15 a 25% do total de perdas, em operação nominal.
- b. **Perdas mecânicas:** perdas por atrito, nos mancais, e ventilação. Contribuem com 5 a 15%.

As perdas variáveis são:

- c. **Perdas no estator:** devidas ao efeito Joule⁴⁴ pela circulação de corrente no enrolamento do estator, significam a maior parcela de perda em condição nominal: 25 a 40%. Dependem da bitola dos condutores e do comprimento das bobinas.

⁴⁴ Efeito Joule é o aquecimento do condutor devido à passagem da corrente: é igual à resistência do condutor vezes o quadrado da corrente.

- d. **Perdas no rotor:** igualmente devidas ao efeito Joule nas barras e anéis do rotor, têm também uma contribuição significativa: 15 a 25%. Dependem do material (em geral, alumínio para motores em baixa tensão), seção e comprimento das barras.
- e. **Perdas suplementares:** são devidas a várias imperfeições na distribuição dos fluxos magnéticos e de corrente e geralmente medidas por subtração com relação às demais perdas. Podem ser reduzidas com um bom projeto do motor. Representam uma parcela menor nos motores de baixa tensão, 10 a 20%.

4.2.3.3 Partida

Um momento delicado na operação do MITRGE é a aceleração inicial. Com o es-corregamento muito alto, a corrente do motor é muito alta, chegando tipicamente a oito vezes a corrente nominal. Isto pode causar problemas tanto à rede, provocando queda de tensão, quanto ao próprio motor. O tempo de aceleração é decisivo: ele pode ser igual a 1 segundo, tipicamente para bombas centrífugas e cargas com baixa inércia, mas pode chegar a mais de 30 s para ventiladores e centrífugas, por exemplo, que têm elevada inércia.

O limite para o motor é o chamado tempo de rotor bloqueado, que é o tempo máximo que o motor pode resistir nesta condição (valor típico 20 s). O conjunto motor-carga acelera porque o conjugado motor é maior que o conjugado resistente. A grandeza que resiste à mudança de velocidade é o momento de inércia, que faz o mesmo papel da massa no movimento linear. O momento de inércia é grosseiramente a integral das massas multiplicadas pelo quadrado da distância ao eixo de rotação.

Cargas de elevada inércia merecem estudo especial do acionamento, para permitir a aceleração do conjunto motor-carga. Muitas vezes a solução mais barata é o sobredimensionamento do motor, resultando, em operação normal, numa conversão de energia de baixo rendimento.

4.2.4 Causas de baixa eficiência

Motores, como se viu, são máquinas de elevada eficiência, em torno de 90%. No entanto, em algumas situações, este número pode ser bem menor. Podem-se apontar quatro causas principais de operação em baixo rendimento:

- a. **Motor sobredimensionado:** a Figura 20 – Curvas de desempenho de um motor, na página 53, mostra claramente a queda de rendimento para motores que operam a baixa carga, mormente menores que 50%. Este é um dos pontos principais deste trabalho, já que o carregamento pode ser avaliado por mensuração simples no campo. A faixa ideal de operação vai de 75% a 100% de carga.
- b. **Motor rebobinado:** um defeito comum em motores, talvez o mais popular, é a chamada “queima”, isto é, quando há a perda de isolação entre as espiras de uma mesma bobina (em baixa tensão, os fios do motor são isolados com esmalte, em alta tensão, com papel), entre duas bobinas de diferentes fases, ou entre uma bobina e o núcleo. Tecnicamente, diz-se que houve, respectivamente, curto-círcuito entre espiras, entre fases ou fase-terra ou carcaça. O grande calor gerado faz realmente com que o esmalte, papel, isolação seja carbonizado, exalando um odor característico. Normalmente, recupera-se o motor rebobinando-o, ou seja, retirando as bobinas e isolando danificadas e colocando-se outras no lugar. Se observado um rigor técnico neste procedimento, o motor pode retornar às suas características originais. Algumas práticas, porém, podem afetar o seu desempenho: retirar as bobinas queimadas esquentando-as com maçarico, por exemplo, pode danificar a isolação entre as chapas do núcleo aumentando as perdas no ferro⁴⁵, ou utilizar fios de cobre de bitola diferente do original pode aumentar as perdas no cobre. Bortoni e outros (1999) analisaram o desempenho de diversos motores, antes e depois do reparo, concluindo que a qualidade da oficina é fundamental na preservação do rendimento. Pode haver até o aumento da eficiência, pela recuperação das condições – limpeza – de atrito e ventilação. Sugerem, inclusive, adotar rotinas de limpeza

⁴⁵ Almeida (2001, p. 96) cita estudo da General Electric apontando o aumento médio de perdas no ferro em 32% nos motores rebobinados, número que chegou a 400%.

como forma de melhorar a eficiência energética na indústria. Infelizmente, esta avaliação (piora ou melhora do rendimento) só pode ser efetuada em laboratório.

- c. **Instalação:** tratam-se aqui das condições mecânicas de instalação do motor: fixação, alinhamento, temperatura, ambiente. Apesar de ser uma máquina robusta, estas condições, infelizmente nem sempre adequadas, afetam o seu desempenho. É fácil, no campo, averiguar se a instalação está adequada, difícil é avaliar o impacto no rendimento.
- d. **Alimentação elétrica:** são dois aqui os principais problemas: desequilíbrio entre fases (desbalanceamento) e harmônicos. Desequilíbrios podem provir da rede da distribuidora ou da diferença de indutância entre os cabos que alimentam o motor – o que é comum quando isto não é feito por cabos tripolares⁴⁶. Estes desequilíbrios geram torques de seqüência negativa, i.e., que tentam fazer o motor girar ao contrário, gerando grandes perdas. Harmônicos, apesar do nome, são distorções na forma senoidal da rede, provocados hoje, em sua maioria, por equipamentos eletrônicos, que também geram perdas. Um estudo da Weg estima as perdas da Figura 21 com desbalanceamento de fases. A medição no campo é possível, mas de execução difícil, porque deveria ser feita na caixa de ligação do motor.
- e. **Manutenção:** além das condições de instalação e alimentação elétrica, as condições de manutenção também influem no rendimento do motor (ALMEIDA, 2001, p. 94-95) embora, de novo, e aqui mais ainda, seja difícil saber-se quanto. Limpeza, lubrificação adequada (nem a menos, nem a mais, quando a graxa passa para o estator), ambiente limpo, boas conexões, são fatores nem sempre encontrados no chão-de-fábrica.

⁴⁶ Moreira et al. (1998, apud ALMEIDA p. 91-92) apontam como causa de desequilíbrio a “utilização de cabos com diâmetros diferentes na formação de uma rede trifásica”. Na nossa experiência em manutenção industrial (cerca de 20 anos, tendo, quando no setor de Engenharia da Ceman, feito planos de manutenção e resolvido problemas crônicos e críticos em diversas indústrias em vários setores e estados do Brasil) temos encontrado mais a situação mencionada no texto, principalmente quando a alimentação se dá com mais de um cabo por fase.

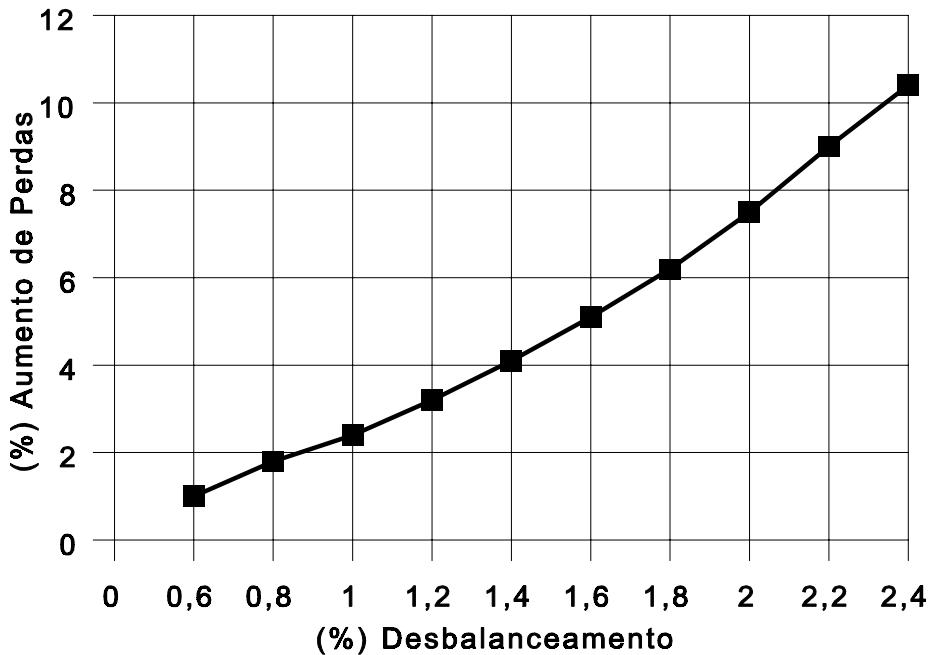


Figura 21 – Desbalanceamento x Aumento de Perdas

Fonte: Weg – Pesquisas. Disponível em <http://www.weg.com.br/>. Acesso em: 4.nov.2000.

4.3 Dimensionamento de motores

Um motor é dimensionado pela carga mecânica que acionará. É comum haver incertezas sobre esta carga no momento do dimensionamento: haverá ampliações, haverá situações em que se poderá exigir um pouco mais de potência (por exemplo, peso em uma esteira transportadora, deposição de massa em agitadores, variação na densidade do líquido impulsionado por uma bomba)? Se a carga é prevista em 3,7 cv, deve-se comprar um motor de 4 cv, que custa R\$430,00, ou de 5 cv, cujo preço é R\$470,00 (ou 6 cv por R\$550,00)?

Fora o aspecto do rendimento, não há inconveniente para um motor sobredimensionado. Ao contrário, terá uma vida útil maior, será menos sujeito a defeitos, enfim, haverá várias vantagens.

Além disso, não é viável manter-se em estoque motores reserva para todos os existentes em uma fábrica. Quando um queima, pode, às vezes, ser substituído por outro maior, desde que seja de mesma rotação. Se o setor de manutenção da fábrica não é muito organizado, ocorre o motor substituto ficar em definitivo nesta posição, trabalhando sobredimensionado. Paradas de produção por defeito em motores são visíveis para a direção da fábrica, razão de alto consumo de energia elétrica, em geral, não o é.

4.4 O motor de alto rendimento

Motores elétricos existem há de pouco mais de um século. Quando surgiram, eram grandes e pesados e custavam caro. Ao longo do tempo, foi-se reduzindo o custo de fabricação, com menos ferro, menos cobre, além de melhores materiais e técnicas de construção. O resultado foi uma grande queda nos índices kg/kWe R\$/kW. Bortoni e Santos (In: EFEI/PROCEL, 2001) ilustram a evolução na Figura 22.

Menos ferro e menos cobre, entretanto, significam maior densidade de fluxo magnético e elétrico e, portanto, maiores perdas (a Figura 23 mostra a perda de rendimento verificada nos motores americanos de 1983, comparados aos de 1955). A preocupação com eficiência energética levou os fabricantes a propor motores com maior custo de fabricação, mas com menor custo do ciclo de vida útil (custo de aquisição e custo de operação), os chamados motores de alto rendimento.

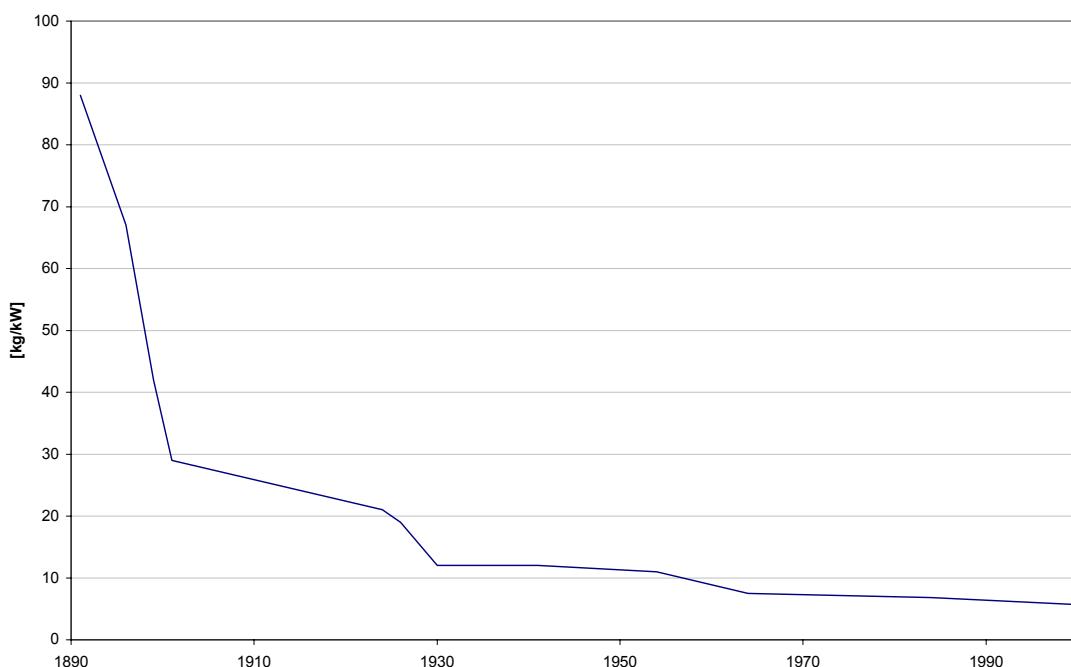


Figura 22 - Evolução dos motores (kg/kW)

Fonte: EFEI/PROCEL (2001, p. 350).

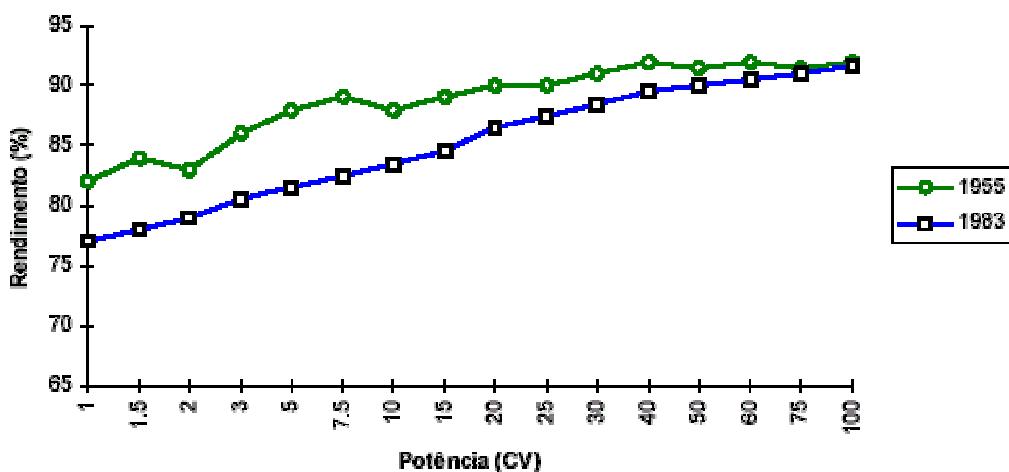


Figura 23 – Rendimento comparativo de motores americanos de 1955 x 1983

Fonte: AMERICO, M. (2003).

Motores de alto rendimento são, portanto, motores com desempenho otimizado através de (WEG, 2003b, p. D-45 e EFEI/PROCEL, 2001, p. 357):

- **Chapas magnéticas de melhor qualidade:** utilizando aço com maior teor de silício, que tem maior suscetibilidade, reduzindo as perdas no ferro.
- **Maior volume de cobre:** além de reduzir as perdas por efeito Joule no bobinado do estator, faz o motor trabalhar a temperatura mais baixa, aumentando sua vida útil.
- **Enrolamentos especiais:** reduzem as perdas no estator.
- **Núcleos dos rotor e estator tratados termicamente:** reduz as perdas suplementares.
- **Desenho das ranhuras:** permitindo um maior enchimento, facilitando a dissipação de calor.
- **Maiores barras e anéis de curto-circuito:** diminuem as perdas Joule no rotor.
- **Melhor desenho da ventilação:** reduzindo as perdas por ventilação.
- **Redução do entre-ferro:** melhor projeto do rotor, menos ovalizado, permitindo a redução do entre-ferro.

Com todas essas melhorias, é natural que o motor de alto rendimento custe mais caro (cerca de 20 a 30%). A sua utilização em lugar de um motor padrão (ou, até mesmo, a troca de um motor em operação), no entanto, pode ser economicamente viável em função do custo de energia economizado ao longo de sua vida útil (o custo da energia elétrica consumida por um motor chegar a mais de 100 vezes o seu preço de aquisição (AMERICO, 2003)).

Vale observar que, embora a redução de perdas seja grande, pode parecer que o acréscimo de rendimento não é significativo. A um rendimento de 90% é necessária uma redução de 11% nas perdas para elevá-lo a 91%, como se pode demonstrar através de uma conta simples.

4.5 Oportunidades de eficientização em motores

Analisa-se a oportunidade de uso de motores de alto rendimento em duas situações principais: para um motor novo, a instalar, ou para substituir um motor já em operação. Na primeira hipótese, é quase sempre viável economicamente usar um motor de alto rendimento, pois a diferença de investimento é apenas entre os custos dos dois motores. Pode apenas não ser compensador em casos com baixíssima utilização do motor (por exemplo, uma bomba d'água que opere 1 ou 2 horas por dia) e/ou baixo custo da energia (R\$/kWh).

Na segunda hipótese, o investimento a ser considerado é não só o custo total do motor de alto rendimento, mas também o custo de colocá-lo em funcionamento: estudo, compra, frete, eventual adaptação da base e acoplamento, eventual mudança no circuito elétrico (relé térmico), mão-de-obra para troca e condicionamento. Neste caso é razoável dobrar-se o custo do motor⁴⁷ (o que foi usado neste trabalho).

Na primeira hipótese (motor novo), basta comparar o custo adicional de um motor de alto rendimento em relação ao motor padrão com a economia obtida ao longo da vida útil. Na segunda hipótese (troca de um motor em funcionamento), a análise é descrita abaixo:

⁴⁷ Depoimento pessoal ao autor de um gerente regional de uma grande ESCO, que implantou vários contratos de performance em indústrias e prédios no estado do Rio de Janeiro.

- a. **Estimar o carregamento do motor:** como não se pode medir a potência fornecida pelo motor diretamente, tem-se que fazê-lo através da medição da potência elétrica, corrente ou rotação, como se verá no item 4.6 - Metodologias de avaliação, na página 64. Para os motores de carga variável, deve-se estimar o carregamento em várias situações ou, pelo menos, em uma situação máxima e uma média.
- b. **Estimar o funcionamento do motor:** esta é, sem dúvida, a parte mais sujeita a erro: estimar o número de horas de funcionamento do motor (quando em carga variável, o número de horas em cada situação) por ano. Mesmo que se façam medições por longo tempo, as condições de operação são muito dinâmicas. Quando se analisa uma fábrica, o que se faz é estimar os vários motores e, ao cabo, compatibilizar a energia gasta com aquela observada através das contas de energia elétrica.
- c. **Estimar o rendimento do motor:** como não se dispõem das curvas de cada motor específico, em geral, usam-se as curvas de motores padrão. Neste trabalho, foram usadas as dos motores Weg já que, como mencionado anteriormente, esta indústria detém 75% do mercado. Neste trabalho, supôs-se o rendimento constante ao longo da vida útil dos motores, embora Delgado (1996, p. 57-59) aponte uma queda de 5% ao longo de 10 anos, devido à perda de rendimento nos mancais e descarbonetação das chapas do núcleo, este último só aplicável aos motores padrão.
- d. **Verificar o motor adequado para substituição:** como muitos motores são sobredimensionados e isto é uma causa de baixa eficiência, trocar o motor por um de potência adequada é essencial. Neste passo, deve-se ter cuidado com duas situações: motores com partida difícil, como comentado no item 4.2.3.3 - Partida, na página 55, ou motores com sobrecarga eventual (por exemplo, esteiras transportadoras que podem eventualmente receber mais material ou mais pesado).
- e. **Calcular o carregamento do motor de alto rendimento:** em geral, supõe-se que a potência fornecida continue a mesma. Bertoni e Santos (In: EFEI, 2001, p. 358-359) chamam a atenção que, para bombas e ventiladores, é preciso con-

siderar a diferença de rotação – ela será maior com o motor de alto rendimento, por ter este menor resistência rotórica, o que causará um aumento considerável de potência, que, nestes casos, varia com o cubo da rotação. Porém, seria preciso considerar também a retroalimentação do processo – por exemplo, uma bomba d'água que enche o tanque o fará mais rapidamente, diminuindo o tempo de operação e a energia gasta. Neste trabalho, manteve-se a potência inicial como constante.

- f. Calcular o rendimento do motor de alto rendimento:** basta usar as curvas do motor que se vai aplicar. Também neste trabalho, foram utilizadas as curvas dos motores de alto rendimento da Weg.
- g. Calcular a redução de energia:** por subtração simples, calculam-se a potência, a energia e o custo reduzidos.
- h. Estimar o investimento para a troca:** é necessário não esquecer os custos adicionais, com eventuais trocas de base, acoplamento, proteção do motor.
- i. Verificar a viabilidade:** análise do investimento, onde o investimento está concentrado no instante inicial e as economias igualmente distribuídas ao longo dos anos. Nesta dissertação, foi suposta uma economia (em R\$) constante, quando, na verdade, constante é a economia de energia⁴⁸. Foi suposta uma taxa de desconto de 15%, como é usual⁴⁹.

A Figura 24 mostra em seqüência os passos para analisar a troca de motor por alto rendimento. Além desses passos, quando se analisa uma fábrica, ainda há outro:

- j. Verificar o melhor investimento:** muitos motores terão sua troca viabilizada, uns mais atrativos, outros menos. Será melhor trocar todos, ou somente alguns, quantos? Neste trabalho, os motores são agrupados em blocos, facilitando a decisão gerencial do melhor investimento.

⁴⁸ O que subestima o número de investimentos viáveis.

⁴⁹ Ver, por exemplo, o trabalho de Soares, Herszterg e Tabosa (IIV SNPTEE, 1997). Esta taxa é usual para se estimar os investimentos no setor elétrico, não no setor industrial, como se comentará adiante.

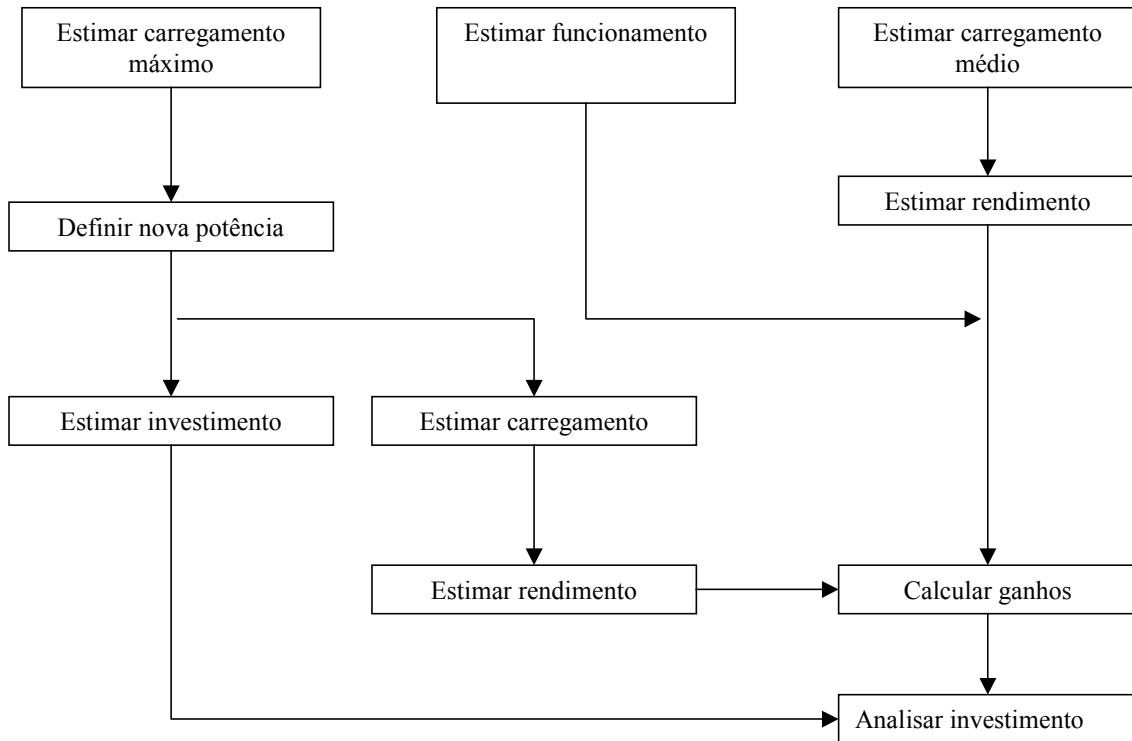


Figura 24 – Fluxograma: análise de troca de motor

Fonte: Elaboração própria.

4.6 Metodologias de avaliação

4.6.1 Avaliação do carregamento – considerações iniciais

Vimos no item 4.2.3.1 - Variáveis – na página 51 – que diversas variáveis dependem do carregamento podendo, portanto, servir de medição indireta para sua avaliação. As de medição mais fácil são, nesta ordem: corrente, potência elétrica e rotação. Neste item discutem-se as vantagens e dificuldades de cada uma para no item 4.6.3 - Avaliação do carregamento – descrição dos métodos, na página 68, precisarem-se os métodos de avaliação.

As relações que envolvem estas variáveis não são simples, envolvendo sempre mais de duas variáveis em cada equação. Se explicitarmos o carregamento como função de corrente, potência elétrica e rotação, teremos:

$$\gamma = \left(\frac{E \cdot \sqrt{3}}{P_{nom} \cdot 0,736} \right) \cdot I \cdot fp \cdot \eta \quad \dots \dots \dots \text{Equação 5.4}$$

γ	Carregamento	[1]
E	Tensão elétrica entre fases	[kV]

P_{nom}	Potência nominal	[cv]
0,736	Conversão cv para kW	[kW/cv]
I	Corrente	[A]
fp	Fator de potência	[1]
η	Rendimento	[1]

Na Equação 5.4 a parte fixa com o carregamento está entre parênteses⁵⁰ – o carregamento é, portanto, função de três variáveis: corrente, fator de potência e rendimento, o que aumenta muito a incerteza da avaliação⁵¹, já que não se dispõe das curvas do motor sob avaliação, mas de um motor genérico, muitas vezes de fabricação diversa do avaliado. São, então, três curvas estimadas. Se medirmos a potência elétrica:

$$\gamma = \frac{P_{el} \cdot \eta}{P_{nom} \cdot 0,736} \quad \text{Equação 5.5}$$

γ	Carregamento	[1]
P_{el}	Potência elétrica	[kW]
η	Rendimento	[1]
P_{nom}	Potência nominal	[cv]
0,736	Conversão cv para kW	[kW/cv]

Este método parece ser melhor, já que a única curva não conhecida é a rendimento versus carregamento. Pode-se também avaliar pela rotação, que será pouco abordado neste estudo. Deduz-se a Equação 5.6 supondo-se linear o trecho da curva “torque versus rotação” na região entre a rotação nominal e a síncrona.

$$\gamma = \frac{n_s - n}{n_s - n_n} \cdot \frac{n}{n_n} \quad \text{Equação 5.6}$$

γ	Carregamento	[1]
n_s	Rotação síncrona (campo magnético)	[rpm]
n	Rotação medida	[rpm]
n_n	Rotação nominal (placa do motor)	[rpm]

Esta fórmula é aparentemente melhor por não depender de nenhuma curva, porém ressente-se da incerteza da rotação nominal, para quem as normas não requerem muita precisão.

⁵⁰ Na verdade, é melhor medir também a tensão e avaliar pela relação $E*I$ medidos sobre $E*I$ nominais.

⁵¹ Principalmente quando o carregamento é menor que 50%, já que as curvas padrão são dadas apenas por 3 pontos: 50, 75 e 100% de carga.

As medições de campo deste trabalho foram de corrente, para algumas fábricas e de potência, para outras. As avaliações por corrente costumam ser mais “otimistas”, i. e., resultam em investimentos viáveis de maior monta.

4.6.2 Avaliação do rendimento

Conhecido o carregamento, e supondo-se uma curva rendimento x carregamento (na verdade, as curvas de catálogo são dadas por 3 pontos, a 50, 75 e 100% de carga nominal), a avaliação do rendimento é feita por interpolação. Neste trabalho, pela semelhança entre a curva exponencial e a empírica (ver Figura 20 – Curvas de desempenho de um motor, na página 53) supôs-se que esta curva tivesse a forma da Equação 5.7:

$$\eta = A \cdot (1 - e^{-a\gamma}) \quad \text{Equação 5.7}$$

η	Rendimento	[1]
A	Parâmetro da curva	[1]
a	Parâmetro da curva	[1]
γ	Carregamento	[1]

Aos pontos conhecidos da curva – rendimento a 50, 75 e 100% da carga – chamaram-se η_{50} , η_{75} e η_n . Deduz-se, então:

$$A = \frac{\eta_{50}^2}{2 \cdot \eta_{50} - \eta_n} \quad \text{Equação 5.8}$$

A	Parâmetro da curva	[1]
η_{50}	Rendimento a 50% de carga	[1]
η_n	Rendimento nominal	[1]

$$a = -\ln\left(1 - \frac{\eta_n}{A}\right) \quad \text{Equação 5.9}$$

a	Parâmetro da curva	[1]
η_n	Rendimento nominal	[1]
A	Parâmetro da curva	[1]

A aplicação destas fórmulas às curvas dos motores Weg mostra bons resultados: os valores de η_{50} e η_n são exatamente iguais e os η_{75} têm um erro médio de 0,4%, desvio-padrão de 0,4% e máximo de 2,7%.

Observa-se, outrossim, que ambos os parâmetros A e a guardam uma correlação com o rendimento nominal, como mostram as Figura 25 e Figura 26. Esta consideração será útil para se estimar a curva dos motores sob a Lei de Eficiência Energética, dos quais se conhece apenas o rendimento nominal⁵².

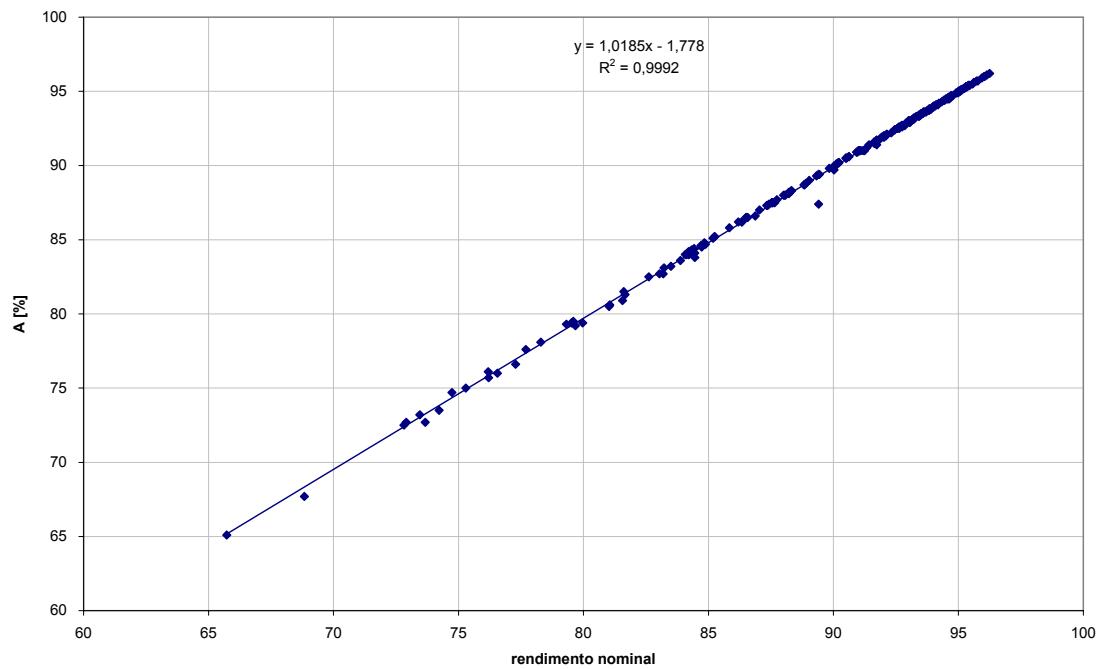


Figura 25 - Parâmetro A x rendimento nominal para motores Weg

Fonte: Elaboração própria.

⁵² Embora a correlação do parâmetro a com o rendimento nominal seja baixa, o que deve corresponder à diversidade dos projetos dos motores – carcaça, núcleo, bobinamento, é útil como uma primeira aproximação.

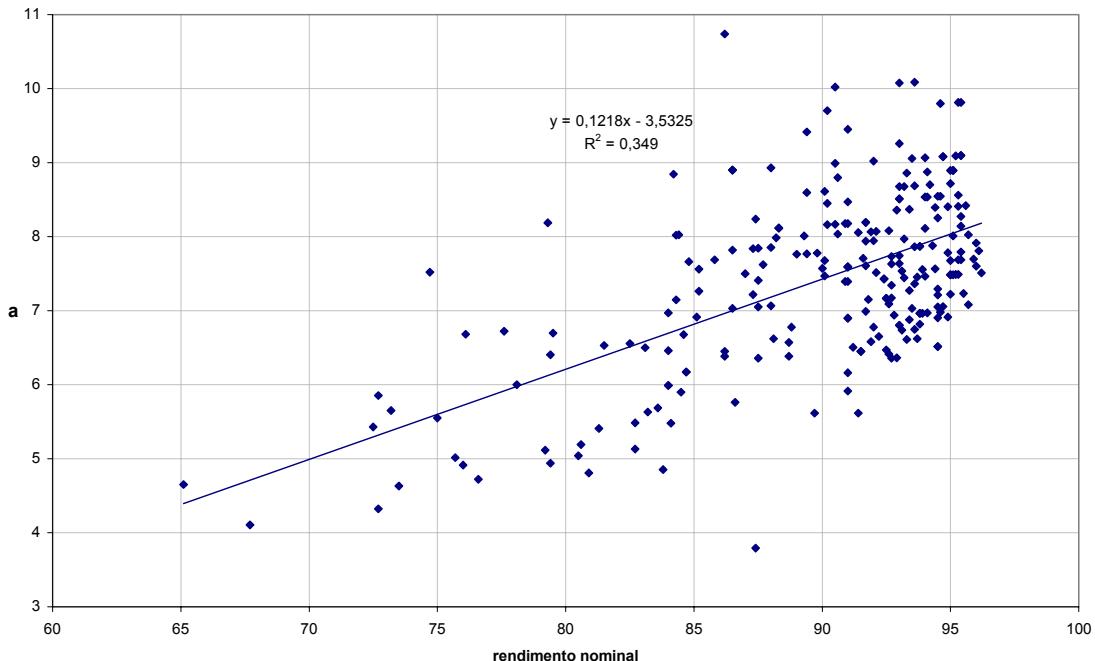


Figura 26 - Parâmetro a x rendimento nominal para motores Weg

Fonte: Elaboração própria.

4.6.3 Avaliação do carregamento – descrição dos métodos

4.6.3.1 Por medição de potência elétrica

Com um wattímetro alicate, mede-se a potência em uma fase (a potência do motor será o triplo da lida), ou mede-se a potência nas três fases, somando-as. Pode-se também usar o método dos dois wattímetros, medindo-se, primeiro, a potência com a corrente da fase A, p. ex, e a tensão entre as fases A e B, somando-se com a potência lida com a corrente na fase C e a tensão entre as fases B e C (este método, porém, requer muita concentração por parte do executante, não sendo indicado quando se está fazendo uma bateria de medidas). Quando se usa um analisador de grandezas elétricas, que possui 3 alicates amperímetros e mede as tensões nas 3 fases simultaneamente, a potência total é precisamente medida a cada instante.

Tendo-se o valor da potência elétrica, precisa-se estimar o carregamento. A combinação das diversas equações acima leva à Equação 5.10, que expressa o carregamento em função da potência elétrica.

$$\frac{1-e^{-a\gamma}}{\gamma} = \frac{P_{nom} \cdot 0,736}{A \cdot P} \quad \dots \dots \dots \text{Equação 5.10}$$

a	Parâmetro da curva	[1]
γ	Carregamento	[1]
P_{nom}	Potência nominal	[cv]
0,736	Conversão cv para kW	[kW/cv]
A	Parâmetro da curva	[1]
P	Potência trifásica medida	[kW]

Considerando a função da Equação 5.11, a raiz corresponderá à solução da Equação 5.10, e pode ser encontrada pelo método de Newton-Raphson.

$$f(\gamma) = \frac{1-e^{-a\gamma}}{\gamma} - \frac{P_{nom} \cdot 0,736}{A \cdot P} \quad \dots \dots \dots \text{Equação 5.11}$$

a	Parâmetro da curva	[1]
γ	Carregamento	[1]
P_{nom}	Potência nominal	[cv]
0,736	Conversão cv para kW	[kW/cv]
A	Parâmetro da curva	[1]
P	Potência trifásica medida	[kW]

O algoritmo, implantado na planilha em *Excel*, é descrito abaixo.

```

Função γ(a, Pmec, A, P)
γ = 0,0001
Para i = 1 ate 100, Δi = 1
f(γ) = 1 - e-aγ - Pmec · 0,736
      ----- A · P
f'(γ) = γ · a · e-aγ - 1 + e-aγ
      ----- γ2
Se |f(γ)| ≤ 0,0001 Entao Fim. Senao
γ = γ - f(γ)
      -----
      f'(γ)
Proximo i
  
```

4.6.3.2 Por medição de corrente

Na medição por corrente, menos precisa, mede-se a corrente em uma das fases ou, preferencialmente, tira-se a média das três fases. É conveniente também medir-se as

tensões entre as três fases e fazer-se a média entre elas. Calcula-se, então, o percentual de potência aparente em relação ao valor nominal.

$$i = \frac{E_{med} \cdot I_{med}}{E_{nom} \cdot I_{nom}} \quad \text{Equação 5.12}$$

i	Corrente percentual	[1]
E_{med}	Tensão entre fases medida (média)	[V]
I_{med}	Corrente medida (média)	[A]
E_{nom}	Tensão entre fases nominal	[V]
I_{nom}	Corrente nominal (placa)	[A]

Para o ajuste de correntes, em função do carregamento, dispõe-se novamente de 3 pontos, a 50, 75 e 100% de carga. A semelhança da curva (ver Figura 20) fez supôr-se uma função do tipo:

$$i = A \cdot e^{b\gamma} \quad \text{Equação 5.13}$$

i	Corrente percentual	[1]
A	Parâmetro de ajuste	[1]
b	Parâmetro de ajuste	[1]
γ	Carregamento	[1]

Neste caso, pode-se deduzir que o parâmetro b vale:

$$b = -2 \ln(i_{50}) \quad \text{Equação 5.14}$$

b	Parâmetro de ajuste	[1]
i_{50}	Corrente percentual a 50% de carga	[1]

A corrente a meia carga vale:

$$i_{50} = \frac{1}{2} \cdot \frac{fp_{nom} \cdot \eta_{nom}}{fp_{50} \cdot \eta_{50}} \quad \text{Equação 5.15}$$

i_{50}	Corrente percentual a 50% de carga	[1]
fp_{nom}	Fator de potência nominal	[1]
η_{nom}	Rendimento nominal	[1]
fp_{50}	Fator de potência a 50% de carga	[1]
η_{50}	Rendimento a 50% de carga	[1]

E o carregamento pode ser obtido diretamente:

$$\gamma = 1 + \frac{1}{b} \cdot \ln(i) \dots \text{Equação 5.16}$$

γ	Carregamento	[1]
b	Parâmetro de ajuste	[1]
i	Corrente percentual medida	[1]

A aplicação destas fórmulas aos motores padrão Weg, mais uma vez fez coincidir os valores nominais e a 50% com um erro médio para 75% de 2,4%, desvio-padrão de 1,4% e máximo de 5,2%.

4.6.4 Cálculo dos ganhos

O ganho de potência se obtém por subtração direta; o de energia por ano, através da multiplicação do ganho de potência pelo número anual de horas de funcionamento; a economia anual multiplicando-se a energia pelo seu custo médio.

O custo médio da energia elétrica, em cada fábrica, foi calculado neste trabalho de dois modos, a depender dos dados disponíveis:

4.6.4.1 Contas de EE disponíveis

Calcularam-se os consumos e demandas médias dos últimos 12 meses nos segmentos de ponta e fora de ponta, atualizando-se o custo pela última revisão tarifária (até agosto de 2003⁵³) e dividindo-se o custo médio de EE obtido pelo consumo médio. Matematicamente:

$$\bar{c} = \frac{\bar{C}_p \cdot c_p + \bar{D}_p \cdot d_p + \bar{C}_{fp} \cdot c_{fp} + \bar{D}_{fp} \cdot d_{fp}}{\bar{C}_p + \bar{C}_{fp}} \dots \text{Equação 5.17}$$

\bar{c}	Custo médio de EE	[R\$/MWh]
\bar{C}_p	Consumo médio na ponta	[MWh]
c_p	Custo do consumo na ponta	[R\$/MWh]
d_p	Demanda média na ponta	[kW]
\bar{C}_{fp}	Custo da demanda na ponta	[R\$/kW]
c_{fp}	Consumo médio fora de ponta	[MWh]
d_{fp}	Custo do consumo fora de ponta	[R\$/MWh]

⁵³ As tarifas estão disponíveis em <http://www.aneel.gov.br>.

\bar{D}_{fp}	Demanda média fora de ponta	[kW]
d_{fp}	Custo da demanda fora de ponta	[R\$/kW]

Os custos considerados foram os do grupo tarifário da indústria e da concessionária que a servia, sem considerar o ICMS.

4.6.4.2 Contas de EE não disponíveis

Neste caso, estimaram-se os fatores de carga nos segmentos ponta e fora de ponta e uma redução de demanda na ponta em relação à demanda fora de ponta (chamada aqui de “fator de ponta”), de acordo com as características de cada fábrica. Considerando, em relação à Equação 5.17:

$$fc_p = \frac{\bar{C}_p \cdot 10^3}{65 \cdot \bar{D}_p} \quad \text{Equação 5.18}$$

fc_p	Fator de carga na ponta	[1]
C_p	Consumo médio na ponta	[MWh]
10^3	Conversão MWh para kWh	[M/k]
65	Número de horas mensais na ponta	[h]
D_p	Demanda média na ponta	[kW]

$$fc_{fp} = \frac{\bar{C}_{fp} \cdot 10^3}{665 \cdot \bar{D}_{fp}} \quad \text{Equação 5.19}$$

fc_{fp}	Fator de carga fora de ponta	[1]
C_{fp}	Consumo médio fora de ponta	[MWh]
10^3	Conversão MWh para kWh	[M/k]
665	Número de horas mensais fora de ponta	[h]
D_{fp}	Demanda média fora de ponta	[kW]

$$f_p = \frac{\bar{D}_p}{\bar{D}_{fp}} \quad \text{Equação 5.20}$$

f_p	Fator de ponta	[1]
D_p	Demanda média na ponta	[kW]
D_{fp}	Demanda média fora de ponta	[kW]

Chega-se ao valor do consumo médio:

$$\bar{c} = \frac{65 \cdot 10^{-3} \cdot fc_p \cdot f_p \cdot c_p + f_p \cdot d_p + 665 \cdot 10^{-3} \cdot fc_{fp} \cdot c_{fp} + d_{fp}}{65 \cdot 10^{-3} \cdot fc_p + 665 \cdot 10^{-3} \cdot fc_{fp}} \quad \text{Equação 5.21}$$

c	Custo médio de EE	[R\$/MWh]
65	Número de horas mensais na ponta	[h]
10^3	Conversão k para M	[k/M]
fc_p	Fator de carga na ponta	[1]
f_p	Fator de ponta	[1]
c_p	Custo do consumo na ponta	[R\$/MWh]
d_p	Custo da demanda na ponta	[R\$/kW]
665	Número de horas mensais fora de ponta	[h]
fc_{fp}	Fator de carga fora de ponta	[1]
c_{fp}	Custo do consumo fora de ponta	[R\$/MWh]
d_{fp}	Custo da demanda fora de ponta	[R\$/kW]

4.6.5 Análise do investimento

Quando se analisa, em uma fábrica, a oportunidade de aplicação de motores de alto rendimento, cabem duas análises: uma, por motor, para se verificar quais são os viáveis para troca e outra, geral, por fábrica, para se otimizar o investimento a se fazer em motores de alto rendimento. Neste trabalho, a partir do conjunto de fábricas analisado, far-se-á uma análise global do investimento necessário para implantar determinada medida (serão feitas cinco análises – ver itens 5.5 a 5.9) no motor “médio” deste conjunto e outra projetando-se a amostra para o cenário nacional (cf. item 5.4 para a crítica da validade da amostra).

4.6.5.1 Investimento por motor

O investimento está inteiramente concentrado no instante zero e o ganho distribuído ao longo da vida útil do motor. Considera-se o ganho um valor constante, embora constante seja apenas a economia de energia. Este é um cálculo que subestima o potencial de conservação de energia elétrica, pois as previsões de aumento de tarifa de energia elétrica são enormes:

O Comitê de Política Monetária do Banco Central (Copom) elevou para 22,3% a projeção de reajuste das tarifas de energia elétrica para este ano. A última previsão, divulgada no encontro de julho, era de um aumento de 21%. (Canal Energia, 28.ago.2003. Disponível em: <http://www.canalenergia.com.br>. Acesso em: 29.ago.2003.

Anualiza-se o investimento:

$$Inv_a = Inv \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Equação 5.22}$$

c	Custo médio de EE	[R\$/MWh]
Inv_a	Investimento anualizado	[R\$]
Inv	Investimento	[R\$]
i	Taxa de desconto	[1]
n	Vida útil	[ano]

E calcula-se a RCB – Relação Custo-Benefício:

$$RCB = \frac{Inv_a}{G} \dots \text{Equação 5.23}$$

RCB	Relação custo-benefício	[1]
Inv_a	Investimento anualizado	[R\$]
G	Ganho financeiro anual	[R\$]

Caso a RCB seja menor que um, o investimento é viável. A Aneel, para os atuais Planos de Eficiência Energética, exige uma RCB menor que 0,85 (ANEEL, 2002, p. 31).

4.6.5.2 Investimento por fábrica

Analisados os motores de uma fábrica, e separados os com troca viável, pode-se agrupá-los, de modo a apoiar a decisão gerencial de qual investimento deve-se fazer. Por exemplo, a RCB pode servir de parâmetro – agrupam-se os motores com $RCB < 0,6$; $< 0,7$ e assim por diante. Na Figura 27 mostra-se um exemplo, escolhido de uma fábrica de alimentos, onde foram analisados 463 motores em 2002.

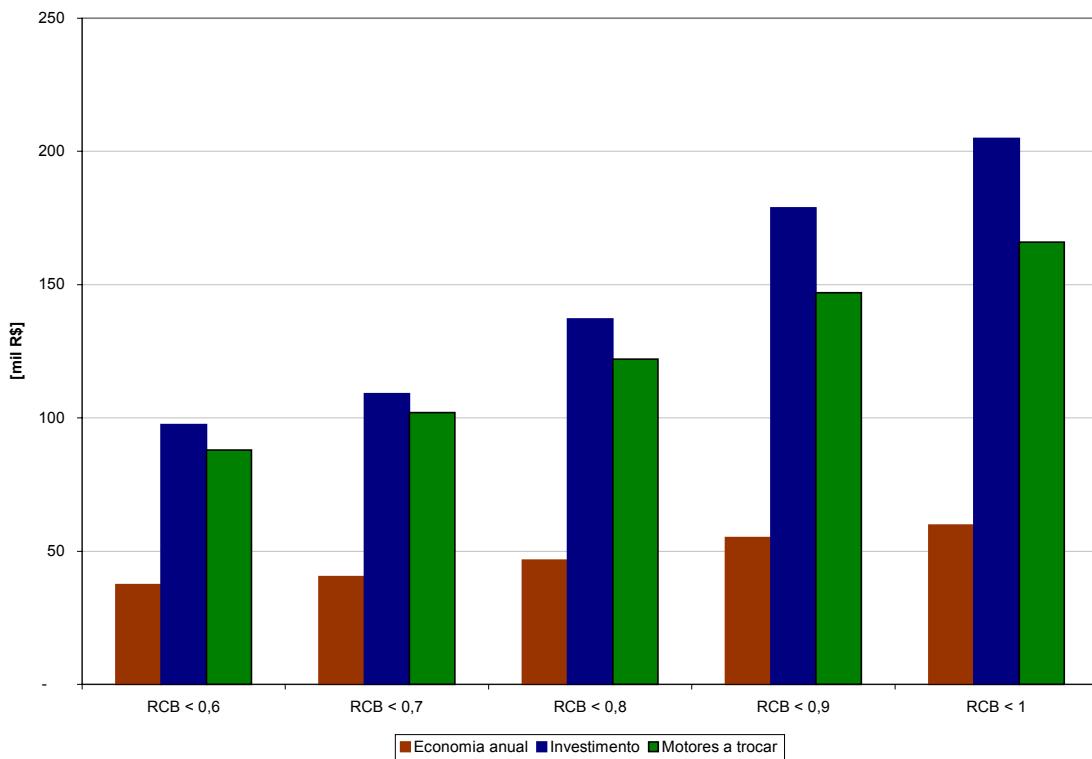


Figura 27 - Alternativas de investimento em uma fábrica

Fonte: Elaboração própria.

4.6.5.3 Investimento em conjunto de fábricas

Para a análise da implantação das 5 medidas estudadas no conjunto de fábricas (ver capítulo 5, na página 78) analisado ou em sua projeção para o Brasil, serão utilizados os seguintes conceitos:

- a. **Tempo de retorno do investimento:** número de anos para retorno do capital empregado, considerando-se uma determinada taxa de desconto.

$$ret = \frac{-\ln\left(1 - \frac{Inv \cdot i}{G}\right)}{\ln(1+i)} \quad \text{Equação 5.24}$$

<i>Ret</i>	Tempo de retorno do investimento	[ano]
<i>Inv</i>	Investimento	[R\$]
<i>G</i>	Ganho financeiro anual	[R\$]
<i>i</i>	Taxa de desconto	[1]

- b. **TIR – taxa interna de retorno:** taxa de desconto que torna o investimento igual a zero, serve de comparação com as taxas de investimento disponíveis no mercado, e é obtida pela solução da Equação 5.25.

$$Inv = \sum_{j=1}^{12} \frac{G}{(1+i)^j} \quad \text{Equação 5.25}$$

Inv	Investimento	[R\$]
G	Ganho financeiro anual	[R\$]
i	Taxa de desconto	[1]

- c. **VPL – valor presente líquido:** traz todo o fluxo de caixa à situação atual servindo, portanto, de comparação entre alternativas.

$$VPL = -Inv + \sum_{j=1}^{12} \frac{G}{(1+i)^j} \quad \text{Equação 5.26}$$

VPL	Valor presente líquido	[R\$]
Inv	Investimento	[R\$]
G	Ganho financeiro anual	[R\$]
i	Taxa de desconto	[1]

- d. **Custo de Conservação de Energia:** adaptando ao nosso caso a fórmula de Jannuzzi (1977, p. 229), pode ser calculado pela Equação 5.27.

$$CCE = \frac{Inv_a}{EE} \quad \text{Equação 5.27}$$

CCE	Custo de conservação de energia	[R\$/MWh]
Inv_a	Investimento anualizado	[R\$]
EE	Energia evitada por ano	[MWh]

- e. **Custo da demanda evitada:** calculado pela Equação 5.28, supondo-se um fator de capacidade de 0,56 (médio para hidroelétricas), como faz o Procel (2003).

$$CDE = \frac{Inv_a}{EE \cdot 1000} \cdot 8760 \cdot fc \quad \text{Equação 5.28}$$

CDE	Custo da demanda evitada	[R\$/kW]
Inv_a	Investimento anualizado	[R\$]
EE	Energia evitada por ano	[MWh]
1000	Conversão de M para k	[k/M]
8760	Número de horas por ano	[h]

fc

Fator de capacidade

[1]

5 O POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA EM MOTORES ELÉTRICOS E A LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O objetivo deste capítulo é responder à pergunta: a aplicação da chamada Lei de Eficiência Energética (cujo conteúdo foi analisado no capítulo 2 desta dissertação) explora todo o potencial de economia de energia em motores elétricos?

Tentaremos respondê-la utilizando dados colhidos no chão-de-fábrica, através de levantamentos de dados e medições feitas por ocasião de diagnósticos energéticos, geralmente contratados por distribuidoras de energia elétrica para atender ao Programa de Eficiência Energética exigido pela Aneel (ver item 3.5.2.3 - O Programa de Eficiência Energética, na página 45). Foram utilizados dados de 18 fábricas, com um total de mais de 2.000 motores.

Esta amostra tem, evidentemente, reduzido valor estatístico. Serve apenas como estudo de caso, para se tentar visualizar o que acontece e o que pode ser feito. Não serão citadas as empresas, por questão de sigilo, dar-se-ão apenas algumas características indispensáveis à compreensão do trabalho.

5.1 Características das fábricas

As principais características das fábricas estudadas estão na Tabela 17.

Tabela 17 – Fábricas estudadas

Fábrica	Setor*	Estado	Nº motores	Potência média [cv]	Consumo anual [GWh]
A	Ferro gusa e aço	RJ	270	84	108
B	Papel e celulose	BA	132	30	17
C	Alimentos e bebidas	RJ	339	6	6
D	Química	SP	25	26	2
E	Papel e celulose	PR	292	28	27
F	Química	PR	91	36	9
G	Têxtil	RJ	17	31	2
H	Têxtil	SP	98	7	2
I	Outros	SP	99	31	6
J	Outros	SP	55	11	2
K	Têxtil	SP	21	13	1
L	Têxtil	SP	89	32	9
M	Ferro ligas	SP	73	58	14
N	Têxtil	SP	335	13	14
O	Outros	SP	67	80	24

Fábrica	Setor*	Estado	Nº motores	Potência média [cv]	Consumo anual [GWh]
P	Outros	SP	13	14	0
Q	Outros	SP	53	30	5
R	Outros	SP	50	29	6
Total			2.119	31	254

* Conforme classificação do BEN (MME, 2002).

Fonte: Elaboração própria.

Algumas peculiaridades adicionais das fábricas e dos estudos feitos⁵⁴:

- a. **Fábrica A:** O estudo foi feito numa amostra de motores acima de 40 cv. Foram feitas medições de potência.
- b. **Fábrica B:** A amostra se cingiu a dois setores da fábrica, que pareciam mais promissores. O estudo foi feito através de medições de potência.
- c. **Fábrica C:** Feita medição de potência em todos os motores fabris. Neste estudo, não foram considerados os motores menores que 1 cv (isto vale para todas as fábricas), que eram muitos.
- d. **Fábrica D:** Realizadas medições de corrente em uma amostra pequena dos motores da fábrica.
- e. **Fábrica E:** Foram feitas medições de corrente em todos os motores. O pessoal da fábrica tinha uma rotina de medir os motores todo mês, o que foi aproveitado.
- f. **Fábrica F:** A análise foi feita por medições de corrente, embora tenham sido realizadas também medições de potência em alguns motores (cujos resultados apontaram menor viabilidade de troca).
- g. **Fábrica G:** Foi medida a potência de apenas alguns motores de um sistema de resfriamento ambiental da fiação.
- h. **Fábrica H:** Foi medida a corrente de uma amostra grande de motores da fábrica. Aqui também a quantidade de motores pequenos é muito grande.

⁵⁴ Estas medições foram feitas para a realização de diagnósticos energéticos, muitas vezes com prazo exíguo para execução. Não se dispõem de muitos dados a respeito das fábricas.

- i. **Fábrica I:** Fábrica de caixas d'água. Medidas as correntes de amostra de motores.
- j. **Fábrica J:** Fábrica de calçados. Medidas as correntes de amostra de motores.
- k. **Fábrica K:** Medidas as correntes de amostra de motores. Havia uma boa quantidade de motores pequenos.
- l. **Fábrica L:** Medidas as correntes de amostra de motores. Havia uma boa quantidade de motores pequenos.
- m. **Fábrica M:** Medidas as correntes de amostra de motores.
- n. **Fábrica N:** Esta fábrica é muito grande, foi feita uma amostra expressiva de motores, dos quais foi medida a corrente.
- o. **Fábrica O:** Fábrica de artefatos de madeira. Foi selecionada uma amostra de motores, representativa do conjunto da fábrica, e medida a corrente elétrica em funcionamento normal.
- p. **Fábrica P:** Esta é uma indústria fabricante de borracha para pneus. Mediu-se a corrente em uma pequena amostra de motores.
- q. **Fábrica Q:** Fábrica de fitas adesivas e outros produtos similares, com muitos motores pequenos. Foram medidas as correntes em uma amostra de motores.
- r. **Fábrica R:** Fábrica de pneus, muito organizada, onde foi medida a corrente de alguns motores selecionados para representar o conjunto da indústria.

5.2 Grupos de motores para análise

Para simplificar a análise e permitir melhor visualização dos resultados, os motores foram divididos em doze grupos, de acordo com seu tamanho (pequeno – P – até 10 cv, médio – M – entre 10 e 50 cv e grande – G – maiores que 50 cv) e polaridade, grupos numerados e identificados de acordo com a Tabela 18.

Tabela 18 – Grupos de motores para análise

	P ≤ 10 cv	10 < P ≤ 50 cv	P > 50 cv
2 pólos	1 – 2pP	2 – 2pM	3 – 2pG
4 pólos	4 – 4pP	5 – 4 pM	6 – 4pG
6 pólos	7 – 6pP	8 – 6pM	9 – 6pG
8 pólos	10 – 8pP	11 – 8pM	12 – 8pG

Fonte: Elaboração própria.

Os grupos foram selecionados de acordo com o comportamento frente ao rendimento, como mostra a Figura 28: os pequenos estão numa faixa de baixo rendimento nominal, que vai de 70 a 90%, os médios numa faixa intermediária, de 85 a 93% e os grandes com excelente *performance*, acima de 91 e até mais de 95%.

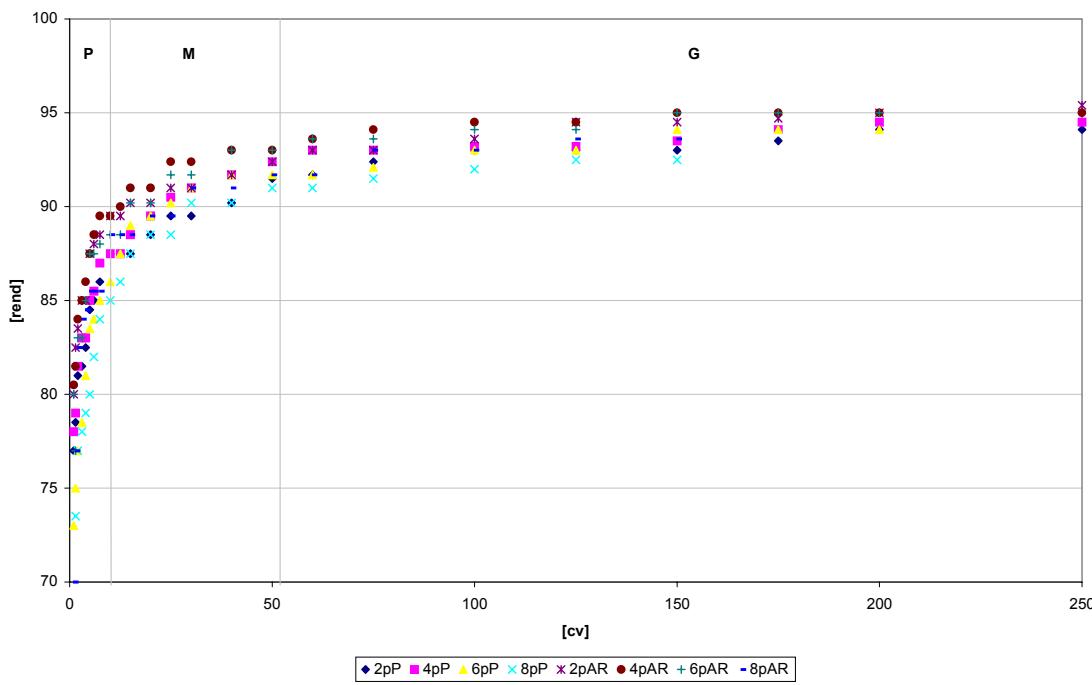


Figura 28 - Grupos de motores

Fonte: Elaboração própria a partir dos rendimentos da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001b).

5.3 Situação atual dos motores (base)

Os motores atuais foram supostos obedecer às curvas de *performance* (ver alínea c do item 4.5, na página 62) dos motores padrão Weg. As curvas rendimento x carregamento dos motores da Lei de Eficiência Energética (que só especifica o rendimento nominal) foram estimadas supondo-se a Equação 5.7 e atribuindo-se ao parâmetro A o valor da reta obtida por regressão linear apresentada na Figura 25, na página 67.

Tabela 19 – Situação atual dos motores

Grupo	Identif	Qtdde	[cv]	carreg.	rendim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/a]	[R\$/ano]
1	2pP	130	5,9	0,61	0,82	3,2	5.118	17	2.245
2	2pM	82	31,4	0,66	0,89	17,1	6.397	110	12.084
3	2pG	43	105,7	0,65	0,89	56,5	7.160	405	40.193
4	4pP	769	4,2	0,55	0,79	2,1	5.495	12	1.517
5	4pM	556	29,4	0,61	0,89	14,8	6.521	97	10.790
6	4pG	279	104,6	0,73	0,91	61,4	7.227	444	45.029
7	6pP	107	5,0	0,54	0,78	2,6	4.867	13	1.651
8	6pM	74	29,9	0,69	0,89	17,0	6.829	116	13.481
9	6pG	54	108,8	0,74	0,92	64,2	7.411	476	47.611
10	8pP	10	4,3	0,40	0,68	1,8	5.853	11	1.394
11	8pM	12	24,2	0,54	0,85	11,2	5.747	64	8.464
12	8pG	3	116,7	0,87	0,93	80,9	8.000	648	52.688
Total		2.119	65.933,0			36.669		253.585	26.759.217
Média			31,1	0,61	0,85	17,3	6.108	120	12.628
Valor médio				0,68	0,90				

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 19 mostra a situação encontrada na análise dos motores. As colunas significam:

Grupo	Grupo de motores por potência
Identif	Nome de fantasia do grupo
Qtdde	Quantidade de motores estudada por grupo
[cv]	Potência nominal média dos motores do grupo
carreg.	Carregamento médio dos motores do grupo
rendim.	Rendimento médio dos motores do grupo
[kW]	Potência elétrica média demandada pelos motores do grupo
[h/ano]	Funcionamento médio dos motores do grupo
[MWh/a]	Energia elétrica média consumida pelos motores do grupo
[R\$/ano]	Gasto médio com a operação dos motores do grupo

Os motores de 4 pólos representam 3/4 do universo, seguidos de 12% de 2 pólos, 11% de 6 pólos e apenas 1% de 8 pólos. Do ponto de vista do tamanho, metade é constituída de motores pequenos, um terço de médios e apenas um sexto de grandes.

A potência média ficou em torno de 30 cv. Vale lembrar que, para comparação com a Lei de Eficiência Energética, foram desconsiderados os motores menores que 1 cv e os maiores que 250 cv, de 2 e 4 pólos, 200 cv, de 6 pólos e 150 cv, de 8 pólos (cf. Tabela 2 – Rendimentos pela Lei da Eficiência Energética, na página 14).

São apresentados dois valores médios para o carregamento: média dos valores, 0,61 e valor médio, 0,68. Estes valores foram obtidos como nas Equação 6.1 e Equação 6.2.

$$\gamma_{med} = \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i}{n} \quad \text{Equação 6.1}$$

γ_{med}	Média dos carregamentos	[1]
γ_i	Carregamento do i-ésimo motor	[1]
n	Número de motores considerado	[1]

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{mec_i}}{\sum_{i=1}^n P_{nom_i}} \quad \text{Equação 6.2}$$

γ	Carregamento médio	[1]
P_{mec_i}	Potência mecânica fornecida pelo i-ésimo motor	[cv]
P_{nom_i}	Potência nominal do i-ésimo motor	[cv]

A média dos carregamentos dá uma idéia da distribuição dos valores. A dispersão pode ser vista na Figura 29.

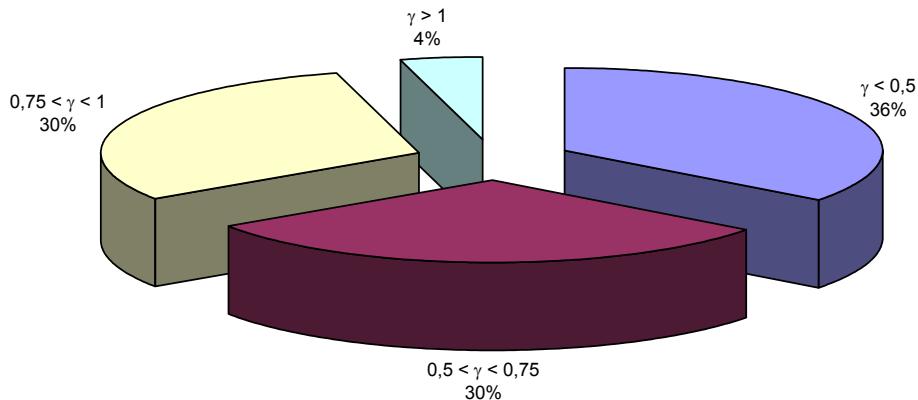


Figura 29 - Distribuição dos carregamentos

Fonte: Elaboração própria.

Praticamente, há três parcelas iguais: a dos com carregamento muito baixo, abaixo da metade da potência nominal, a dos com carregamento baixo e a do carregamento

ideal⁵⁵, com uma pequena taxa de motores sobrecarregados. À primeira vista, portanto, 2/3 dos motores apresentam oportunidades de eficientização pela adequação à carga. Outra observação interessante, que se pode ver na Tabela 19, é que os motores pequenos trabalham a uma carga menor que os grandes. Isto pode ser devido ao processo de dimensionamento (ver item 4.3 - Dimensionamento de motores, na página 58), onde as diferenças de preço de motor nas potências menores é menor que nas maiores, e confirma a tese que se tende a sobredimensionar a potência nominal.

O trabalho a baixa cargas se reflete no rendimento. Embora os valores de rendimento médio possam parecer altos (0,85 para a média e 0,90 para o valor médio), há uma boa quantidade de motores com baixa eficiência na conversão de energia. Os valores médios, à semelhança do carregamento, estão assim definidos:

$$\eta_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i}{n} \quad \text{Equação 6.3}$$

η_{med}	Média dos rendimentos	[1]
η_i	Rendimento do i-ésimo motor	[cv]
n	Número de motores considerado	[cv]

$$\bar{\eta} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{mec_i} \right) \cdot 0,736}{\sum_{i=1}^n P_{el_i}} \quad \text{Equação 6.4}$$

$\bar{\eta}$	Rendimento médio	[1]
P_{mec_i}	Potência mecânica fornecida pelo i-ésimo motor	[cv]
0,736	Conversão de cv para kW	[kW/cv]
P_{eli}	Potência elétrica demandada pelo i-ésimo motor	[kW]

A distribuição dos rendimentos está na Figura 30.

⁵⁵ No item 4.2.4 - Causas de baixa eficiência, na página 55, viu-se que a faixa ideal de operação dos motores vai de 75 a 100% de carga.

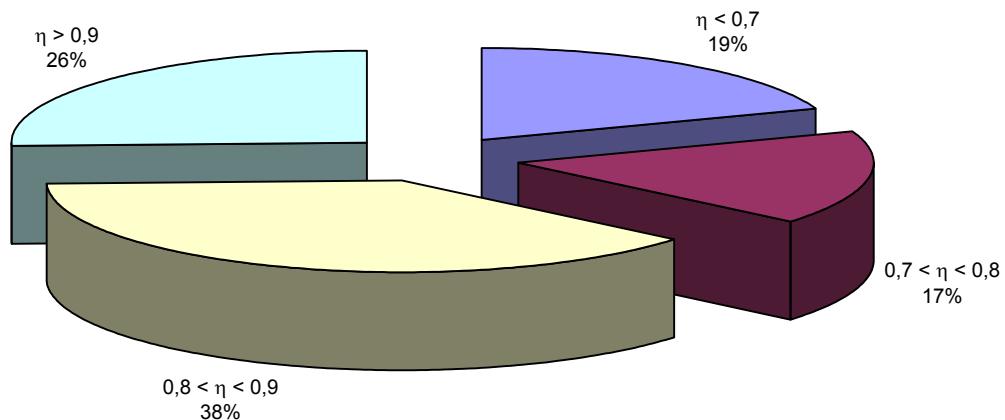


Figura 30 - Distribuição dos rendimentos

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se dizer que um terço dos motores tem rendimento baixo, sendo que 20% muito baixo. Do outro terço, entre 0,8 e 0,9 de eficiência, certamente muitos motores poderiam operar de uma forma mais eficiente.

Também se observa que os motores menores trabalham com menor eficiência (além de o rendimento nominal ser menor, estão mais subcarregados). Tomemos, como exemplo, as fábricas **A** e **H**. Na fábrica **A** prevalecem os motores grandes, com uma potência média de 84 cv, enquanto que o contrário se dá na fábrica **H**, onde a potência média vale apenas 7 cv. O carregamento médio é também maior (0,76 contra 0,35), o que resulta num rendimento médio bem maior (0,91 contra 0,77). A distribuição de carregamentos e rendimentos também é desigual, como se pode ver na Figura 31.

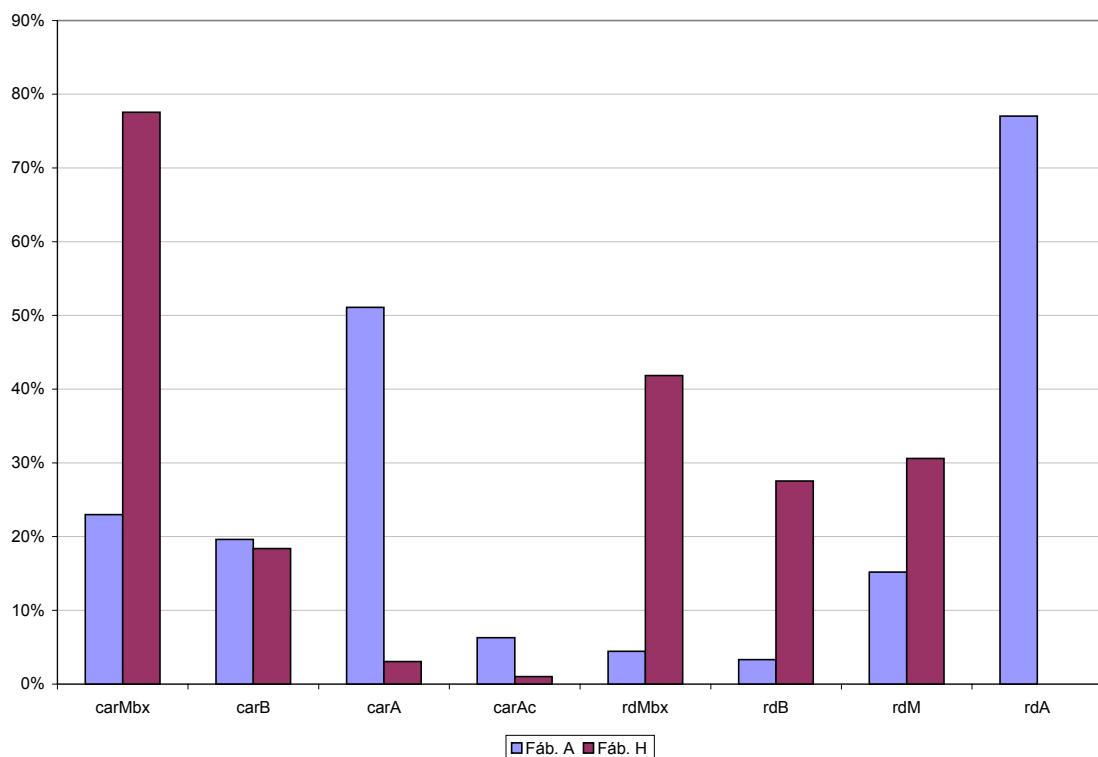


Figura 31 - Comparação entre as fábricas A e H

Fonte: Elaboração própria.

As colunas da Figura 31 significam:

carMbx	Carregamento muito baixo (abaixo de 0,5)
carB	Carregamento baixo (entre 0,5 e 0,75)
carA	Carregamento adequado (entre 0,75 e 1)
carAc	Sobrecarregado
rdMbx	Rendimento muito baixo (abaixo de 0,7)
rdB	Rendimento baixo (entre 0,7 e 0,8)
rdM	Rendimento intermediário (entre 0,8 e 0,9)
rdA	Rendimento alto (acima de 0,9)

Vê-se claramente que os valores baixos correspondem à fábrica **H**, enquanto os altos à indústria **A**.

5.4 Projeção para o Brasil

Em todas as análises foi feita uma projeção para o conjunto de motores da indústria brasileira. Como a amostra tem pouco valor estatístico, esta projeção também o tem. No entanto, serve para fornecer pistas de quais são os principais vieses da amostra.

5.4.1 Conjunto de motores da indústria brasileira

A venda de motores trifásicos de indução no Brasil de 1989 a 2000⁵⁶ pode ser vista na Tabela 20 (ABINEE, 2003⁵⁷).

Tabela 20 – Vendas de motores trifásicos no Brasil

MOTORES TRIFÁSICOS	Até 1 cv	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	Total
1989	320.501	587.707	84.710	13.907	4.732	322	1.011.879
1990	274.952	495.607	61.228	11.401	3.862	233	847.283
1991	256.421	465.252	54.891	8.713	3.200	187	788.664
1992	227.869	421.557	58.401	10.585	3.591	183	722.186
1993	235.828	446.430	59.077	11.340	3.700	272	756.647
1994	328.353	537.670	77.947	14.544	4.951	360	963.825
1995	443.169	716.855	98.614	19.390	7.395	548	1.285.971
1996	356.815	600.791	88.195	17.798	6.778	686	1.071.063
1997	396.482	711.519	113.125	23.024	9.695	892	1.254.737
1998	335.721	704.677	132.524	25.621	10.981	1.236	1.210.760
1999	354.510	676.130	115.207	22.203	9.224	945	1.178.219
2000	449.907	770.264	132.125	26.461	10.360	917	1.390.034
Total	3.980.528	7.134.459	1.076.044	204.987	78.469	6.781	12.481.268
	32%	57%	9%	2%	1%	0,1%	100%

Fonte: ABINEE, 2003.

Supondo-se para motores trifásicos uma vida útil média de 12 anos e o estoque constante, este deveria ser o universo de motores no Brasil em 2001. Americo (2003) estima este universo em 10 milhões de unidades. O MME (2001, p. 25) cita o mercado anual como de 1 milhão de motores.

Em 2001, a partir dos dados do BEN (MME, 2002) e da estrutura do BEU 93 (MME, 1995), estimou-se no item 3.3 - Uso da eletricidade na indústria, um consumo de energia elétrica pelos motores elétricos industriais de 82.217 GWh, 60% da indústria ou 27% do consumo brasileiro. O MME (2001, p. 26) estima em 25% do consumo brasileiro a energia consumida pelos motores elétricos industriais, 50% da indústria.

⁵⁶ Como estamos trabalhando com o BEN (MME, 2002), com dados de 2001, achamos conveniente referir o estudo a este ano.

⁵⁷ Dados gentilmente enviados pelo sr. Robson da Silva Freitas, assistente administrativo da ABINEE, mediante nossa solicitação por correio eletrônico.

5.4.2 Projeção feita

A distribuição da ABINEE (Tabela 20) não é exatamente igual à adotada nesta dissertação: a ABINEE considera todos os motores, enquanto aqui, para se conciliar com a Lei de Eficiência Energética, foram considerados os de 1 até 150/200/250 cv, conforme a polaridade (ver Tabela 2 – Rendimentos pela Lei da Eficiência Energética, na página 14). Mesmo tentando-se corrigir estes desvios, a aplicação das energias médias consumidas na nossa amostra aos motores da ABINEE resulta num número muito maior que o previsto (82 TWh/ano), mesmo considerando-se que os motores de indução trifásicos não são usados apenas em indústrias. As hipóteses para isso são:

- Motores não industriais têm carregamento e regime de funcionamento bem inferior aos industriais;
- A estrutura do BEU 1993 (MME, 1995) tem um viés de uso final em eletrotermia (por exemplo, o setor Química supõe apenas que 67% da eletricidade seja usada em força motriz, o de Cerâmica 78%, o de Outros 75%);
- A amostra contemplou um universo de uso mais intensivo em força motriz (motores maiores, mais carregados ou com maior número de horas de funcionamento por ano);
- O regime de funcionamento dos motores da amostra, estimado com base em informação do pessoal das fábricas, foi supervvalorizado⁵⁸.

Foge ao escopo deste trabalho trabalhar estas hipóteses, o que será considerado como recomendação de desdobramento (item 7). Aqui, apenas aplicaremos “fatores de projeção” aos resultados dos três grupos – P, M e G – para adequar a energia total à presumivelmente consumida.

⁵⁸ Quando se dispõem de outros dados da fábrica e pode-se cotejar a estimativa (potência medida x horas estimadas) com o consumo presumido total dos motores, chega-se a corrigir a estimativa de horas em até 30% (experiência pessoal em cerca de 40 diagnósticos em indústrias).

Tabela 21 – Situação atual - Brasil

Grupo	Identif	[cv]	carreg	rendim	[kW]	[h/ano]	[MWh/a]	[R\$/ano]
1	2pP	5,9	0,61	0,82	3,2	5.118	17	2.245
2	2pM	31,4	0,66	0,89	17,1	6.397	110	12.084
3	2pG	105,7	0,65	0,89	56,5	7.160	405	40.193
4	4pP	4,2	0,55	0,79	2,1	5.495	12	1.517
5	4pM	29,4	0,61	0,89	14,8	6.521	97	10.790
6	4pG	104,6	0,73	0,91	61,4	7.227	444	45.029
7	6pP	5,0	0,54	0,78	2,6	4.867	13	1.651
8	6pM	29,9	0,69	0,89	17,0	6.829	116	13.481
9	6pG	108,8	0,74	0,92	64,2	7.411	476	47.611
10	8pP	4,3	0,40	0,68	1,8	5.853	11	1.394
11	8pM	24,2	0,54	0,85	11,2	5.747	64	8.464
12	8pG	116,7	0,87	0,93	80,9	8.000	648	52.688
Total		23.652,592			12.591,713		79.134,564	9.071.922,695
Média		10	0,57	0,81	5,3	5.567	33	3.792
Valor médio			0,62	0,86				

Fonte: Elaboração própria

As colunas têm o mesmo significado das da Tabela 19, na página 82. Observa-se na Tabela 21 (em relação à Tabela 19), que os valores médios de carregamento e rendimento diminuem, bem como a potência média e o número de horas de funcionamento, em função de maior participação dos motores pequenos.

5.5 1ª Análise – Uso da Lei de Eficiência Energética

Nesta primeira análise, procurou-se verificar apenas o que acontecerá quando todos os motores forem substituídos pelos com rendimento adequados à Lei da Eficiência Energética.

A partir da medição de campo (corrente ou potência), foi estimada a potência mecânica desenvolvida no eixo de cada motor estudado. Com esta potência e a metodologia descrita no item 4.6, estimaram-se os rendimentos dos motores atuais (que, como se viu em 5.3, foram supostos obedecer às curvas dos motores padrão Weg) e daqueles que atendem à Lei de Eficiência Energética, podendo-se assim avaliar os ganhos relacionados.

Os motores atuais,. Os resultados estão na Tabela 22.

Tabela 22 – 1^a Análise – Resultados

Grupo	Identif	Qtdde	trocados	[cv]	carreg.	rendim.	[kW]	[h/ano]	[MWh	[R\$/ano]	/ano]
1	2pP	130	126	5,9	0,61	0,828	3,19	5.119	16	2.214	
2	2pM	82	1	31,4	0,66	0,88	17,33	6.396	111	12.221	
3	2pG	43	21	105,7	0,65	0,90	56,36	7.158	403	40.051	
4	4pP	769	769	4,2	0,55	0,81	2,07	5.500	11	1.474	
5	4pM	556	361	29,4	0,61	0,89	14,79	6.521	96	10.771	
6	4pG	279	279	104,6	0,73	0,93	60,66	7.228	438	44.460	
7	6pP	107	105	5,0	0,54	0,79	2,55	4.869	12	1.636	
8	6pM	74	74	29,9	0,69	0,90	16,88	6.828	115	13.377	
9	6pG	54	43	108,8	0,74	0,93	63,86	7.410	473	47.348	
10	8pP	10	4	4,3	0,40	0,69	1,82	5.845	11	1.382	
11	8pM	12	9	24,2	0,54	0,86	11,16	5.744	64	8.412	
12	8pG	3	-	116,7	0,87	0,92	81,43	8.000	651	53.005	
Total		2.119	1.792	65.933			29.828		251.503	26,5 M	
Média				31,1	0,61	0,86	14,1	6.033	119	12.525	
Valor médio				85%		0,68	0,91				

Fonte: Elaboração própria.

As colunas têm o mesmo significado da Tabela 19 (página 82), com acréscimo da coluna “trocados” onde está a quantidade de motores que tiveram seu rendimento aumentado com a troca (85% o foram). Os carregamentos continuaram os mesmos, já que não houve troca de potência, mas o rendimento médio teve um ganho de 0,8%, com uma energia economizada também de 0,8%. Metade dos grupos tiveram quase a totalidade de motores trocados, com bom ganho, outros quatro ficaram numa faixa intermediária e apenas dois sofreram piora. Os ganhos por grupo estão na Tabela 23.

Tabela 23 – 1^a Análise - Ganhos

Grupo	Identif	Qtdde	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]
1	2pP	130	0,00	0,01	0,24	32,93
2	2pM	82	0,00	-0,01	-1,20	-136,71
3	2pG	43	0,00	0,00	1,49	141,77
4	4pP	769	0,00	0,02	0,33	43,07
5	4pM	556	0,00	0,00	0,17	19,49
6	4pG	279	0,00	0,01	5,49	569,72
7	6pP	107	0,00	0,01	0,11	14,36
8	6pM	74	0,00	0,01	0,88	104,22
9	6pG	54	0,00	0,00	2,59	263,01
10	8pP	10	0,00	0,00	0,09	11,51
11	8pM	12	0,00	0,00	0,40	52,20
12	8pG	3	0,00	-0,01	-3,90	-317,26
Total		2.119			2.082	219.752

Grupo	Identif	Qtdde	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]
Média			0,00	0,01	0,98	104
Valor médio			0,00	0,01		
Do total				0,8%	0,8%	

Fonte: Elaboração própria.

Vê-se que o saldo é positivo em quase todos os grupos, embora os ganhos de rendimento sejam baixos. Nos motores de 4 pólos, que já se viu representarem $\frac{3}{4}$ do total, o ganho é um pouco maior, influindo bastante os motores grandes.

Extrapolando (com as restrições já comentadas) para a indústria brasileira, como mostra a Tabela 24, o ganho subiria por causa do maior peso dos motores pequenos na correção feita. A aplicação da Lei traz, portanto, um ganho global e em quase todos os grupos de motores. As análises seguintes tentarão verificar o que mais poderia ser feito.

Tabela 24 – 1^a Análise – Ganhos - Brasil

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,00	0,01	0,24	32,93	-
2	2pM	0,00	-0,01	-1,20	-136,71	-
3	2pG	0,00	0,00	1,49	141,77	-
4	4pP	0,00	0,02	0,33	43,07	-
5	4pM	0,00	0,00	0,17	19,49	-
6	4pG	0,00	0,01	5,49	569,72	-
7	6pP	0,00	0,01	0,11	14,36	-
8	6pM	0,00	0,01	0,88	104,22	-
9	6pG	0,00	0,00	2,59	263,01	-
10	8pP	0,00	0,00	0,09	11,51	-
11	8pM	0,00	0,00	0,40	52,20	-
12	8pG	0,00	-0,01	-3,90	-317,26	-
Total				864.069	106.655.669	-
Média		0,00	0,02	0,37	45	-
Valor médio		0,00	0,01			
Do total				1,1%	1,2%	

Fonte: Elaboração própria.

5.6 2^a Análise – Uso de motores de alto rendimento

Nesta segunda análise, está-se buscando trocar motores padrão por motores adequados à Lei da Eficiência Energética, de mesma potência, porém de alto rendimento.

A metodologia usada na avaliação é a mesma do item anterior, trocando-se apenas os rendimentos nominais dos novos motores para aqueles que a Lei preconiza como mínimos para motores de alto rendimento. Está-se supondo que a troca seria feita ao fim

da vida útil dos motores, com um investimento adicional que englobaria o custo maior do motor e eventual adaptação de base a carcaça diferente (como não se pressupõe estudo de viabilidade, seriam trocados todos os motores, independentemente da viabilidade do investimento). Em valores, considerando o preço do motor de alto rendimento como igual a um (o que será feito em todas as hipóteses analisadas), estimou-se um acréscimo de 23% devido ao maior custo do motor e 20%⁵⁹, em média, para as trocas de carcaça. Os resultados estão na Tabela 25.

Tabela 25 – 2^a Análise - Resultados

Grupo	Identif	Qtdde	troca-dos	[cv]	carreg.	ren-dim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Inves-tim.
1	2pP	130	123	5,9	0,61	0,854	3,09	5.119	16	2.144	200
2	2pM	82	77	31,4	0,66	0,90	16,98	6.397	109	11.967	763
3	2pG	43	43	105,7	0,65	0,92	55,02	7.146	393	38.967	3.217
4	4pP	769	725	4,2	0,55	0,84	2,02	5.504	11	1.437	171
5	4pM	556	541	29,4	0,61	0,90	14,57	6.523	95	10.606	768
6	4pG	279	279	104,6	0,73	0,94	59,83	7.227	432	43.846	3.015
7	6pP	107	103	5,0	0,54	0,83	2,43	4.888	12	1.567	274
8	6pM	74	66	29,9	0,69	0,91	16,67	6.828	114	13.211	1.319
9	6pG	54	54	108,8	0,74	0,94	62,94	7.411	466	46.658	4.251
10	8pP	10	10	4,3	0,40	0,73	1,70	5.839	10	1.292	372
11	8pM	12	11	24,2	0,54	0,86	11,06	5.746	64	8.342	1.345
12	8pG	3	3	116,7	0,87	0,93	80,35	8.000	643	52.303	5.357
Total		2.119	2.035	65.933			35.217		247.541	26,1 M	2,0 M
Média				31,1	0,61	0,88	16,6	6.125	117	12.320	953
Valor médio				96%		0,68	0,92				

Fonte: Elaboração própria.

O significado das colunas já foi definido na Tabela 19, à exceção da coluna “**Investim.**”, que apresenta o investimento médio para troca dos motores em cada grupo. Este investimento foi estimado somando-se, ao custo adicional do preço maior do motor de alto rendimento, 20% deste preço para despesas com eventual adaptação a carcaça maior (apenas em algumas potências os motores são construídos numa carcaça maior).

Na coluna “**trocados**” estão os motores cuja troca diminuiu o consumo de energia. Praticamente todas o foram (não se está tratando aqui se o investimento é viável, pois esta análise não foi feita, mas se a troca trouxe uma economia de energia ou não). Não há diferença no carregamento, em relação à situação-base, já que não houve adequação

⁵⁹ À falta de referências disponíveis, as estimativas de investimento foram unicamente baseadas na expe-

à carga, e o rendimento cresce 2 pontos percentuais (ou seja, houve 22% de redução de perdas). Os ganhos e análise do investimento estão na Tabela 26.

Tabela 26 – 2^a Análise – Ganhos

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,00	0,04	0,75	101	200
2	2pM	0,00	0,01	1,05	118	763
3	2pG	0,00	0,02	11,77	1.226	3.217
4	4pP	0,00	0,04	0,61	80	171
5	4pM	0,00	0,02	1,59	184	768
6	4pG	0,00	0,02	11,54	1.184	3.015
7	6pP	0,00	0,04	0,63	84	274
8	6pM	0,00	0,02	2,34	270	1.319
9	6pG	0,00	0,02	9,36	953	4.251
10	8pP	0,00	0,05	0,80	102	372
11	8pM	0,00	0,01	0,93	122	1.345
12	8pG	0,00	0,01	4,73	385	5.357
Total				6.043	653.579	2.018.870
Média		0,00	0,03	2,85	308	953
Valor médio		0,00	0,02			
Do total				2,4%	2,4%	
Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto 15%)						
Investimento anualizado				[R\$]		176
RCB				[1]		0,57
Retorno				[ano]		4,45
TIR				[%]		31%
VPL				[R\$]		625

Fonte: Elaboração própria.

Em todos os grupos houve ganhos significativos, em especial para os motores pequenos. A análise do investimento está feita com base em valores médios, por motor, para efeitos de comparação. O investimento tem uma excelente atratividade, embora o tempo de retorno seja alto para os padrões brasileiros⁶⁰. Do ponto de vista da indústria é interessante, portanto, implantar uma política de substituição de todos os motores por unidades de alto rendimento, à medida que forem atingindo o final de vida útil. As análises seguintes responderão à pergunta: haverá algo mais vantajoso?

Extrapolando-se para o Brasil, os ganhos estão na Tabela 27.

riência do autor em projetos de eficientização.

⁶⁰ Faria e Santos (2002, in IX CBE, p. 1245) falam em “expectativas de prazos de amortização curtos (2-3 anos no máximo)”.

Tabela 27 – 2^a Análise – Ganhos – Brasil

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,00	0,04	0,75	101,05	200
2	2pM	0,00	0,01	1,05	117,71	763
3	2pG	0,00	0,02	11,77	1.225,51	3.217
4	4pP	0,00	0,04	0,61	80,01	171
5	4pM	0,00	0,02	1,59	183,83	768
6	4pG	0,00	0,02	11,54	1.183,65	3.015
7	6pP	0,00	0,04	0,63	84,24	274
8	6pM	0,00	0,02	2,34	269,57	1.319
9	6pG	0,00	0,02	9,36	952,63	4.251
10	8pP	0,00	0,05	0,80	101,90	372
11	8pM	0,00	0,01	0,93	121,80	1.345
12	8pG	0,00	0,01	4,73	385,10	5.357
Total				2.358.137	285.558.349	800.826.316
Média		0,00	0,04	1,00	121	340
Valor médio		0,00	0,03			
Do total				3,0%	3,2%	
Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto: 15%)						
Investimento anualizado				[R\$]		63
RCB				[1]		0,52
Retorno				[ano]		3,90
TIR				[%]		35%
VPL				[R\$]		276
Custo de conservação de energia				[R\$/MWh]		63
Custo da demanda evitada				[R\$/kW]		307,26

Fonte: Elaboração própria.

A maior participação dos motores pequenos faz aumentar os ganhos, reduzir o investimento médio e aumentar a sua atratividade. Os ganhos são quase três vezes maiores que a troca por motores padrão. Para o país, são interessantes os custos de conservação de energia e demanda evitada (como comparação, o custo médio de operação de usinas térmicas é apresentado na Tabela 28 e o custo de investimento em térmicas do PPT na Tabela 29). Diante disto, pode-se pensar em eliminar a linha padrão o que, no entanto, tiraria o poder de decisão do consumidor.

Tabela 28 – Custo de operação de usinas térmicas (R\$/MWh)

Bagacó	329,39
Biomassa	142,02
Carvão	110,88
Diesel	415,58
Gas	89,82
Nuclear	9,87
Óleo	362,63

Média	267,05
-------	--------

Fonte: ONS – Planilha NW-DU-092003.xls. Disponível em <http://www.ons.org.br>. Acesso em 17.set.2003.

Tabela 29 – Térmicas do PPT (2002)

Nome	UF	MW	M US\$	Quem	US\$/kW
Termobahia gn	BA	450	180	Termobahia Ltda.	400
Fafen	BA	50	25	Petrobras / EDP	500
Corumbá gn	MS	90	50	CVRD / Petrobras / EDP	556
Três Lagoas	MS	240	120	Petrobras / FPL	500
Termopernambuco gn	PE	500	250	Termopernambuco S.A.	500
Ibirité gn	MG	720	396	Petrobras / Fiat	550
Juiz de Fora gn	MG	103	57	Cat-Leo Energia Ltda.	553
Rio Gen gn	RJ	500	275	RJG – Rio de Janeiro Generation Ltda.	550
Macaé Merchant gn	RJ	700	385	El Paso Rio Claro Ltda.	550
Termorio gn	RJ	1.020	500	TermoRio S.A.	490
Eletrobolt	RJ	350	193	RJG – Rio de Janeiro Generation Ltda.	551
Piratinha gn	SP	600	345	Petrobras / Emae	575
Araucária gn	PR	480	214	Copel / El Paso / Petrobras	446
Refap gn	RS	500	390	Petrobras / Texaco / El Paso	780
Média		450	241		536

Fonte: Disponível em <http://www.infraestruturabrasil.gov.br>. Acesso em: 9.set.2003.

5.7 3^a Análise – Adequação à carga

Nesta análise, busca-se verificar o montante do ganho com adequação à carga acionada, i.e., já que há muitos motores superdimensionados, é viável estudar-se a sua troca para efetuá-la ao fim da vida útil dos motores?

Para o investimento necessário, considerou-se a eventual adaptação da base, acoplamento e proteção elétrica e um estudo de engenharia para especificação das trocas possíveis. Estimou-se um gasto de 70% do preço do motor de alto rendimento (todos os custos deste trabalho foram referenciados a este preço) – 30% para adaptação de carcaça (maior que no item anterior, pois as trocas serão em maior número, já que está-se adequando a potência), 20% para a adaptação de potência (basicamente, troca do relé térmico nas trocas de potência) e 20% para o estudo de adequação.

Tabela 30 – 3^a Análise – Resultados

Grupo	Identif	Qtdde	troca-dos	[cv]	carreg.	ren-dim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Inves-tim.
1	2pP	130	45	5,1	0,70	0,832	3,18	5.095	16	2.190	72
2	2pM	82	7	29,2	0,71	0,90	17,00	6.411	109	12.001	33
3	2pG	43	12	83,8	0,82	0,92	55,03	7.128	392	38.764	540
4	4pP	769	502	3,2	0,71	0,83	2,04	5.483	11	1.451	125

Grupo	Identif	Qtdde	troca-dos	[cv]	carreg.	rendim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Inves-tim.
5	4pM	556	146	24,1	0,74	0,90	14,59	6.517	95	10.636	149
6	4pG	279	117	91,4	0,83	0,92	60,77	7.227	439	44.496	1.342
7	6pP	107	45	4,3	0,64	0,81	2,49	4.861	12	1.592	102
8	6pM	74	8	27,8	0,74	0,90	16,94	6.826	116	13.417	77
9	6pG	54	4	104,7	0,77	0,92	64,05	7.410	475	47.469	542
10	8pP	10	4	3,0	0,58	0,75	1,66	5.922	10	1.275	101
11	8pM	12	2	19,7	0,66	0,87	11,02	5.778	64	8.342	161
12	8pG	3	-	116,7	0,87	0,93	80,94	8.000	648	52.688	-
Total		2.119	892	56.820			11.719		250.196	26,4 M	637 k
Média				26,8	0,74	0,87	5,5	5.883	118	12.459	301
Valor médio				42%		0,79	0,91				

Fonte: Elaboração própria.

O carregamento aumenta 11% e o rendimento 1%, tendo sido viável a troca de 42% dos motores. Para efeito de comparação, não foi considerada a troca de grupo, por exemplo, um motor de 60 cv que tenha sido trocado por outro de 40 cv continuou no grupo **G**. É de se notar que em alguns grupos (por exemplo, 8pP), embora o carregamento tenha aumentado (no caso, de 0,40 para 0,58), ainda continua baixo, o que acontece porque algumas trocas não foram viáveis economicamente. Os ganhos podem ser melhor vistos na Tabela 31.

Tabela 31 – 3a Análise - Ganhos

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,09	0,02	0,40	57	72
2	2pM	0,05	0,01	0,64	83	33
3	2pG	0,17	0,02	12,64	1.429	540
4	4pP	0,16	0,03	0,51	66	125
5	4pM	0,13	0,01	1,51	154	149
6	4pG	0,11	0,01	4,77	533	1.342
7	6pP	0,10	0,03	0,44	59	102
8	6pM	0,05	0,00	0,54	64	77
9	6pG	0,03	0,00	1,24	142	542
10	8pP	0,18	0,07	0,89	119	101
11	8pM	0,12	0,02	0,78	121	161
12	8pG	0,00	0,00	-	-	-
Total				3.390	357.709	637.139
Média		0,13	0,02	1,60	169	301
Valor médio		0,11	0,01			
Do total				1,3%	1,3%	

Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto: 15%)		
Investimento anualizado	[R\$]	55
RCB	[1]	0,33
Retorno	[ano]	2,22
TIR	[%]	56%
VPL	[R\$]	534

Fonte: Elaboração própria.

Novamente, os maiores ganhos foram para os motores pequenos. O investimento tem uma excelente atratividade, além de bem mais baixo que o em motores de alto rendimento. Os ganhos são um pouco maiores que os obtidos pela simples aplicação da Lei de Eficiência Energética, porém economizam menos energia que os motores de alto rendimento. Como o investimento é baixo, é uma excelente opção para a indústria que dispõe de pouco capital.

A extração para o Brasil produz os resultados da Tabela 32.

Tabela 32 – 3ª Análise – Ganhos - Brasil

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,09	0,02	0,40	57	72
2	2pM	0,05	0,01	0,64	83	33
3	2pG	0,17	0,02	12,64	1.429	540
4	4pP	0,16	0,03	0,51	66	125
5	4pM	0,13	0,01	1,51	154	149
6	4pG	0,11	0,01	4,77	533	1.342
7	6pP	0,10	0,03	0,44	59	102
8	6pM	0,05	0,00	0,54	64	77
9	6pG	0,03	0,00	1,24	142	542
10	8pP	0,18	0,07	0,89	119	101
11	8pM	0,12	0,02	0,78	121	161
12	8pG	0,00	0,00	-	-	-
Total				1.663.897	201.291.621	332.127.407
Média		0,14	0,03	0,71	86	141
Valor médio		0,12	0,02			
Do total				2,1%	2,2%	

Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto: 15%)

Investimento anualizado	[R\$]	26
RCB	[1]	0,30
Retorno	[ano]	2,03
TIR	[%]	60%
VPL	[R\$]	281
Custo de conservação de energia	[R\$/MWh]	37
Custo da demanda evitada	[R\$/kW]	180,64

Fonte: Elaboração própria.

Com a maior participação dos motores pequenos, os ganhos ficaram ainda maiores e o investimento mais atrativo. O investimento equivale (em termos de VPL) ao do uso indiscriminado de motores de alto rendimento. Para o país, os custos são bem menores que os da ampliação do sistema.

5.8 4^a Análise – Troca imediata por motor de alto rendimento

Este é o estudo padrão que se faz em diagnósticos energéticos – verificar a viabilidade de trocar o motor atual por outro de alto rendimento, adequado à carga acionada, para investimento imediato. É uma situação difícil do ponto de vista financeiro, pois se vai retirar um motor em funcionamento, que ficará sem uso⁶¹ e substitui-lo por um motor mais caro, com custos adicionais de troca, investimento que deverá ser remunerado apenas pelo custo da energia evitada. Neste estudo, foi considerado necessário um investimento igual ao dobro do preço do motor de alto rendimento⁶² - 100% para o custo do motor, 20% com as despesas de compra (cotação, compra, frete), 25% com adaptações de carcaça (pois serão menos relevantes no custo médio que o item anterior), 15% com adaptações de potência (idem) e 40% para o estudo de adequação (considerando maiores os custos de transação para a realização do empreendimento). Os resultados estão na Tabela 33.

Tabela 33 – 4^a Análise – Resultados

Grupo	Identif	Qtdde	troca-dos	[cv]	carreg.	ren-dim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Inves-tim.
1	2pP	130	45	5,0	0,71	0,838	3,16	5.078	16	2.165	180
2	2pM	82	7	29,3	0,71	0,90	17,00	6.408	109	11.991	110
3	2pG	43	11	84,4	0,81	0,92	54,98	7.127	392	38.713	1.231
4	4pP	769	312	3,5	0,66	0,83	2,04	5.454	11	1.444	219
5	4pM	556	123	24,7	0,72	0,90	14,57	6.516	95	10.618	298
6	4pG	279	40	96,8	0,79	0,92	61,00	7.226	441	44.669	939
7	6pP	107	34	4,4	0,62	0,81	2,49	4.840	12	1.584	189
8	6pM	74	8	27,8	0,74	0,90	16,92	6.825	115	13.399	221
9	6pG	54	1	107,5	0,75	0,92	64,15	7.411	475	47.559	112

⁶¹ A Weg normalmente oferece 10% do preço do novo motor de alto rendimento pelo motor usado, como incentivo à compra. É praticamente um desconto e também uma forma de retirar o motor ineficiente de uso, pois poderia ser aproveitado em outra aplicação. Este procedimento não foi considerado neste estudo.

⁶² Resultado da experiência, não relatada, de investimentos em substituição, com adaptação de base, confecção e troca de polia, troca de relé térmico, estudo de engenharia, compra, comissionamento e instalação do motor.

Grupo	Identif	Qtdde	troca-dos	[cv]	carreg.	rendim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Inves-tim.
10	8pP	10	2	3,0	0,57	0,74	1,68	5.939	10	1.288	132
11	8pM	12	2	19,7	0,66	0,87	10,98	5.786	64	8.315	460
12	8pG	3	-	116,7	0,87	0,93	80,94	8.000	648	52.688	-
Total		2.119	585	59.058			6.044		250.495	26,4 M	730.895
Média				28	0,70	0,87	2,9	5.802	118	12.461	345
Valor médio				28%		0,76	0,91				

Fonte: Elaboração própria.

Quase um terço dos motores é viável para troca, apesar das dificuldades acima expostas. O carregamento aumenta bem, embora, evidentemente, um pouco menos que a troca por motores padrão (onde houve mais trocas, porque o investimento era bem menor – ver Tabela 30, na página 95) e o rendimento aumenta 1%. Novamente, há mais trocas de motores pequenos, especialmente os de 4 pólos, embora os ganhos sejam maiores para os motores grandes. A Tabela 34 mostra os ganhos obtidos.

Tabela 34 – 4^a Análise- Ganhos

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,10	0,02	0,6	80	180
2	2pM	0,05	0,01	0,7	93	110
3	2pG	0,16	0,03	13,1	1.480	1.231
4	4pP	0,11	0,03	0,6	74	219
5	4pM	0,11	0,01	1,7	173	298
6	4pG	0,06	0,01	3,2	360	939
7	6pP	0,08	0,03	0,5	66	189
8	6pM	0,05	0,00	0,7	82	221
9	6pG	0,01	0,00	0,4	52	112
10	8pP	0,17	0,06	0,8	106	132
11	8pM	0,12	0,02	1,0	149	460
12	8pG	0,00	0,00	-	-	-
Total				3.089	353.571	730.895
Média		0,10	0,02	1,46	167	345
Valor médio		0,08	0,01			
Do total				1,2%	1,3%	

Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto: 15%)

Investimento anualizado	[R\$]	64
RCB	[1]	0,38
Retorno	[ano]	2,66
TIR	[%]	48%
VPL	[R\$]	487

Fonte: Elaboração própria.

A economia é pouco menor que a obtida na 3^a análise, com a troca por motores padrão, com adaptação à carga (é preciso notar que apenas 70% daqueles motores foram agora trocados), embora ainda seja um investimento favorável. Adotado como padrão pelas ESCOs⁶³ e programas de incentivo à eficiência energética, por ter um retorno mais rápido, mostra-se, no entanto, a pior opção para a indústria, exigindo uma soma alta e com menor VPL. A 5^a análise irá verificar se, trocando-se os motores à medida do necessário, não é melhor trocar por unidades de alto rendimento.

A extrapolação para o Brasil produz os números da Tabela 35.

Tabela 35 – 4^a Análise – Brasil – Ganhos

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,10	0,02	0,6	80	180
2	2pM	0,05	0,01	0,7	93	110
3	2pG	0,16	0,03	13,1	1.480	1.231
4	4pP	0,11	0,03	0,6	74	219
5	4pM	0,11	0,01	1,7	173	298
6	4pG	0,06	0,01	3,2	360	939
7	6pP	0,08	0,03	0,5	66	189
8	6pM	0,05	0,00	0,7	82	221
9	6pG	0,01	0,00	0,4	52	112
10	8pP	0,17	0,06	0,8	106	132
11	8pM	0,12	0,02	1,0	149	460
12	8pG	0,00	0,00	-	-	-
Total				1.776.686	218.103.112	547.881.788
Média		0,11	0,03	0,76	93	232,90
Valor médio		0,10	0,02			
Do total				2,2%	2,4%	
Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto: 15%)						
Investimento anualizado				[R\$]		43
RCB				[1]		0,46
Retorno				[ano]		3,38
TIR				[%]		39%
VPL				[R\$]		234
Custo de conservação de energia				[R\$/MWh]		57
Custo da demanda evitada				[R\$/kW]		279,07

Fonte: Elaboração própria.

⁶³ ESCO – Empresa de Serviço de Energia – é uma empresa de consultoria em engenharia destinada a explorar o mercado de Eficiência Energética, entre outras atividades. Algumas, principalmente no exterior, alavancam recursos financeiros capazes de implementar as medidas, gerindo os contratos, muitas vezes remunerados com a economia obtida.

O ganho aumenta bastante, superando a troca por motores padrão, com adequação à carga (3^a análise). A explicação para isto está no grupo 4pG, que tem um peso grande na economia da 3^a análise, o que é reduzido quando se faz a extração, pela menor participação dos motores grandes no conjunto brasileiro do que na amostra. O investimento é favorável para a nação.

No entanto, feito o estudo para troca dos motores, alguns deles, não viáveis para troca imediata, o serão ao fim de sua vida útil. É disto que troca a próxima – e última – análise.

5.9 5^a Análise – Troca por Motor de Alto Rendimento ao fim da vida útil

Quando a troca se faz ao fim da vida útil, o investimento torna-se bem menor: em vez de se considerar o preço total do motor de alto rendimento, considera-se somente o acréscimo em relação ao padrão, as despesas de compra não são consideradas porque são as mesmas das com o motor padrão, o mesmo acontecendo com a mão-de-obra para instalação e comissionamento. O investimento compõe-se, portanto: maior preço do motor, estudo de engenharia para troca e adaptações necessárias. Neste estudo, considerou-se um valor igual a 73% do preço do motor de alto rendimento – 23% para o custo adicional, 25% para adaptação de carcaça, 15% para adaptação de potência e 10% para o estudo (como são muitos os motores trocados, o impacto por motor diminui). Os resultados estão na Tabela 36.

Tabela 36 – 5^a Análise - Resultados

Grupo	Identif	Qtdde	troca-dos	[cv]	carreg.	ren-dim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Inves-tim.
1	2pP	130	111	4,1	0,87	0,869	3,04	5.104	16	2.099	231
2	2pM	82	25	25,6	0,81	0,91	16,88	6.416	108	11.913	200
3	2pG	43	26	79,0	0,87	0,93	54,14	7.124	386	38.127	2.614
4	4pP	769	679	2,8	0,81	0,86	1,96	5.501	11	1.399	199
5	4pM	556	361	20,4	0,88	0,92	14,36	6.522	94	10.466	535
6	4pG	279	236	85,9	0,89	0,94	59,75	7.230	432	43.771	3.412
7	6pP	107	84	3,3	0,83	0,85	2,36	4.886	12	1.518	267
8	6pM	74	22	23,4	0,88	0,91	16,70	6.829	114	13.220	359
9	6pG	54	14	95,3	0,84	0,93	63,47	7.417	471	46.998	1.595
10	8pP	10	8	2,2	0,77	0,80	1,56	5.903	9	1.195	303
11	8pM	12	4	15,1	0,86	0,88	10,86	5.783	63	8.216	389
12	8pG	3	-	116,7	0,87	0,93	80,94	8.000	648	52.688	-
Total				2.119	1.570	51.285		24.295	246.267	25,9 M	1,7 k

Grupo	Identif	Qtdde	troca-dos	[cv]	carreg.	rendim.	[kW]	[h/ano]	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Inves-tim.
Média				24,2	0,85	0,89	11,5	6.015	116	12.243	807
Valor médio				74%		0,87	0,93				

Fonte: Elaboração própria.

Esta é a melhor situação: melhor carregamento, melhor rendimento, maiores ganhos. No entanto, o investimento é alto, embora distribuído ao longo do tempo. A Tabela 37 mostra de forma clara as economias obtidas.

Tabela 37 – 5^a Análise - Ganhos

Grupo	Identif	Qtdde	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	130	0,26	0,05	1,06	145,84	231
2	2pM	82	0,15	0,01	1,35	171,31	200
3	2pG	43	0,22	0,04	19,20	2.065,50	2.614
4	4pP	769	0,26	0,07	0,91	118,04	199
5	4pM	556	0,27	0,03	2,94	324,60	535
6	4pG	279	0,16	0,03	11,96	1.258,44	3.412
7	6pP	107	0,29	0,07	1,00	132,54	267
8	6pM	74	0,19	0,02	2,10	260,90	359
9	6pG	54	0,10	0,01	5,09	613,07	1.595
10	8pP	10	0,38	0,12	1,51	199,41	303
11	8pM	12	0,32	0,03	1,67	248,08	389
12	8pG	3	0,00	0,00	-	-	-
Total		2.119			7.317	815.740	1.710.535
Média			0,24	0,05	3,45	385	807
Valor médio			0,19	0,03			
Do total					2,9%	3,0%	

Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto: 15%)

Investimento anualizado	[R\$]	149
RCB	[1]	0,39
Retorno	[ano]	2,70
TIR	[%]	47%
VPL	[R\$]	1.113

Fonte: Elaboração própria.

Os ganhos relativos são muito grandes para os motores pequenos, embora os motores grandes representem a maior fatia absoluta. O investimento é bastante atrativo, bem acima dos outros estudados. Os ganhos extrapolados para a indústria brasileira estão na Tabela 38.

Tabela 38 – 5^a Análise – Ganhos - Brasil

Grupo	Identif	carreg.	rendim.	[MWh/ano]	[R\$/ano]	Investim.
1	2pP	0,26	0,05	1,06	145,84	231
2	2pM	0,15	0,01	1,35	171,31	200
3	2pG	0,22	0,04	19,20	2.065,50	2.614
4	4pP	0,26	0,07	0,91	118,04	199
5	4pM	0,27	0,03	2,94	324,60	535
6	4pG	0,16	0,03	11,96	1.258,44	3.412
7	6pP	0,29	0,07	1,00	132,54	267
8	6pM	0,19	0,02	2,10	260,90	359
9	6pG	0,10	0,01	5,09	613,07	1.595
10	8pP	0,38	0,12	1,51	199,41	303
11	8pM	0,32	0,03	1,67	248,08	389
12	8pG	0,00	0,00	-	-	-
Total				3.355.874	409.976.004	739.329.019
Média		0,26	0,06	1,40	171	309
Valor médio		0,23	0,04			
Do total				4,2%	4,5%	
Análise do investimento (vida útil: 12 anos, taxa de desconto: 15%)						
Investimento anualizado				[R\$]		57
RCB				[1]		0,33
Retorno				[ano]		2,26
TIR				[%]		55%
VPL				[R\$]		539
Custo de conservação de energia				[R\$/MWh]		41
Custo da demanda evitada				[R\$/kW]		199,38

Fonte: Elaboração própria.

Mais uma vez, a maior participação dos motores pequenos aumenta os ganhos relativos e melhora a atratividade do investimento. Esta alternativa, que engloba os aspectos positivos das anteriores, é a mais interessante.

5.10 Comparaçāo das análises

A Tabela 39 compara os resultados das cinco análises feitas na amostra de 18 indústrias.

Tabela 39 – Comparação das cinco análises

	Ganho carregamento [%]	Ganho rendimento [%]	Motores trocados [%]	Ganho energia [%]	Econo-mia média [R\$]	Investimen-to anuali-zado [R\$]	TIR [%]	VPL [R\$]
1 ^a análise Padrão sem adequação	-	0,8%	85%	0,8%	104	-	-	-
2 ^a análise AR sem adequação	-	2,2%	96%	2,4%	308	176	31%	625
3 ^a análise Padrão com adequação	10,9%	1,2%	42%	1,3%	169	55	56%	534
4 ^a análise AR com adequação imediata	7,9%	1,1%	28%	1,2%	167	64	48%	487
5 ^a análise AR com adequação ao fim da vida útil	19,4%	2,8%	74%	2,9%	385	149	47%	1.113

Fonte: Elaboração própria.

Em suma, a aplicação da Lei da Eficiência Energética deverá economizar cerca de 1% da energia usada pelos motores da indústria. Respondendo à pergunta do início do capítulo, na página 78, a sua simples aplicação não explora todo o potencial de economia de energia em motores: se fossem usados motores de alto rendimento no lugar de motores padrão, a economia seria mais de duas vezes maior, com um benefício quase o dobro do custo. Adequar simplesmente o motor à carga, por outro lado, é um investimento baixo, com ótimo retorno, que teria 60% a mais de impacto que a aplicação da Lei. Estudos para aplicação imediata de motores de alto rendimento, como são feitos normalmente, têm bom retorno, economizam tanto quanto a adequação à carga, mas se a troca for feita ao final da vida útil dos motores, o resultado é maximizado. Embora de contabilização mais difícil para mostrar resultados de um plano de eficiência energética, a troca ao final da vida útil é melhor. A combinação das três opções – melhores rendimentos pela Lei da Eficiência Energética, uso de motores de alto rendimento e adequação à carga – leva aos melhores resultados.

Acreditamos ter, não respondido, mas, como pretendíamos, jogado luz nas perguntas da Introdução (página 1):

- *Como e quanto operam os motores da indústria?* A Tabela 19 – Situação atual dos motores mostra valores de carregamento, rendimento e número de horas de operação por ano. Quando estes valores são aplicados ao número de motores ven-

didos no Brasil nos últimos doze anos, todavia, nota-se que há uma discrepância com a estimativa de consumo de energia elétrica por força motriz. No item 7 há uma sugestão de pesquisa para dirimir esta dúvida.

- *Qual a sua distribuição por velocidade e potência?* A divisão nos 12 grupos apresentada na Tabela 18 – Grupos de motores para análise e os valores “corrigidos” da Tabela 21 – Situação atual - Brasil dão uma idéia desta distribuição.
- *Qual o rendimento operacional?* As nossas estimativas ficaram em 90%, o que partiu duma premissa de obedecer às curvas de motores padrão Weg. Não foram consideradas perdas por rebobinamento ou deficiências na instalação ou rede elétrica.
- *Qual o ganho com a troca pelos novos motores?* Esta foi a abordagem da primeira análise. O resultado aponta para cerca de 1% da energia consumida pelos motores industriais.
- *E por motores de alto rendimento?* Uma opção que se mostrou de bom alvitre, abordada nas análises 2, 4 e 5, explorando diversas situações em que isto pode ser feito, todas com bom retorno.
- *Qual o investimento associado?* Foram estimados valores que se encontram nas diversas análises, e que será melhor abordado no Capítulo 6.
- *É viável a troca?* Acreditamos ter ficado claro que, se calcada em bom estudo de engenharia, qualquer alternativa se mostra atrativa financeiramente.
- *O que se pode fazer adicionalmente para tornar mais eficiente a operação dos motores?* A adequação à carga é um fator essencial. Não são abordados neste estudo, também, a melhoria da instalação mecânica e da rede elétrica; o uso de acionadores eletrônicos, como conversores de freqüência e chaves de parada e partida progressiva (*soft-starters*); e, talvez mais que tudo, a otimização do conjunto motor-carga⁶⁴.

⁶⁴ Soares et al. (IX CBE, 2002, p. 1382) estimam o potencial de economia em sistemas motrizes em 6 TWh/ano.

6 A QUESTÃO DA EXPLORAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA EM MOTORES

A Lei de Eficiência Energética, portanto, explora uma boa parte do potencial de economia de energia elétrica em motores de indução trifásicos. Há, por outro lado, uma parte ainda maior a explorar. Este capítulo discute o que se pode fazer neste sentido.

É preciso reconhecer, inicialmente, que muito tem sido feito, embora seja difícil estimar os resultados até aqui. Como exemplo, transcrevemos a notícia abaixo, que cita uma linha de crédito em eficiência energética do Banco do Brasil e a parcela de motores de alto rendimento fabricada:

A Eberle e o Banco do Brasil assinaram ontem o primeiro convênio de alcance nacional dentro do programa de incentivo à eficiência energética, lançado dia 18 de maio pela instituição financeira. A partir de hoje, o acordo permite o financiamento das vendas de motores elétricos industriais de alto rendimento fabricados pela indústria gaúcha em Caxias do Sul (RS) para empresas de todo o país [...] Atualmente os equipamentos econômicos correspondem de 10% a 12% da produção total da Eberle no segmento, que alcança 400 mil/ano. (EBERLE, 2003).

Outra notícia mostra que, na época da crise, muitos se lembraram dos motores de alto rendimento:

A Weg, de Jaraguá do Sul, uma das cinco maiores fabricantes mundiais de motores elétricos, informou ontem que obteve no primeiro semestre do ano lucro líquido de R\$ 80,217 milhões, montante 50% maior que o obtido no mesmo período de 2000, que somou R\$ 53,465 milhões. A receita líquida, no mesmo período, foi de R\$ 488,609 milhões, 34% a mais que a obtida no primeiro semestre do ano passado. **Esse desempenho positivo resultou principalmente do aumento das vendas de geradores, motores elétricos de alto rendimento e inversores de freqüência devido a crise energética**, e também ao incremento das exportações que foram favorecidas pelo dólar alto. (grifo nosso). (DIÁRIO CATARINENSE, 2001).⁶⁵

Mesmo que não estejam disponíveis dados confiáveis resultantes dos diagnósticos feitos e programas de incentivo⁶⁶, a interação com o pessoal das empresas, principalmente da área de manutenção, pelo que indica a notícia acima, provocou efeitos residu-

⁶⁵ Weg obtém lucro de R\$ 80 milhões. **Diário Catarinense**, 24.jul.2001. Disponível em: <http://www.senge-sc.org.br/noticias/240701b.htm>. Acesso em: 19.set.2003.

⁶⁶“Com o grande volume de serviços demandados pelas análises dos projetos, visando a aprovação dos Programas, não foi destinado o tempo necessário para a montagem do processo de verificação do andamento dos projetos. [...] O processo de aprovação dos 17 Programas do Ciclo 1998/1999 demorou mais de um ano, e ainda hoje existem projetos daquele Ciclo sendo avaliados, a pedido das empresas, para que substituam projetos anteriormente aprovados. Claro que sua implementação ficará bastante aquém da previsão inicial de realização”. VILLA VERDE, 2000, p. 76.

ais importantes. Em 1998, antes, portanto, do início dos Programas de Eficiência Energética, Geller et al. (1998, p. 869) diziam que a adoção de medidas e práticas de uso eficiente estava crescendo, mas que na maioria dos casos tinha penetrado em apenas 5% do mercado potencial. Certamente, o Programa de Eficiência Energética da Aneel (ver item 3.5.2.3, na página 45), iniciado naquele ano, avançou bastante neste sentido, como também o fizeram os efeitos do racionamento de 2001. Entretanto, como visto, muito ainda resta a fazer.

6.1 Ações pertinentes

Geller et al.(2003, p. 5-10) descrevem as ações aceitas como capazes de aumentar o uso eficiente de energia no Brasil e estimular o uso de energias renováveis, como parte do esforço para atingir um “Cenário de Energia Limpa”. Dentre essas ações, reproduzimos as que podem estimular o uso eficiente de motores⁶⁷:

- a. Adoção de índices mínimos de eficiência para equipamentos elétricos, de iluminação e motores:** este é exatamente o espírito da Lei de Eficiência Energética. Para os motores, viu-se que haveria ganhos se fossem adotados os índices mínimos de motores de alto rendimento. Uma questão a explorar seria, portanto, quais seriam os índices ótimos a serem estabelecidos (o que será proposto como desdobramento deste trabalho).
- b. Expansão dos investimentos das distribuidoras em eficientização do uso final:** os autores recomendam ampliar o Programa de Eficiência Energética para algo em torno de 2% da receita. Parte deste fundo continuaria sendo gerido pelas distribuidoras e parte pelos organismos estatais, que poderiam, por exemplo, estimular o uso eficiente da energia, financiar ESCOs, disseminar informações e treinamentos, criar as condições para um mercado de eficiência energética sustentável e aumentar os prazos de retorno para as ações do Pro-

⁶⁷ As outras ações seriam: introdução nos Códigos de Obras de medidas de uso eficiente de energia, expansão do uso da cogeração através do uso de gás natural, adoção de índices mínimos de eficiência para termoelétricas, adoção de padrões de consumo de combustível ou emissão de CO₂ no transporte de passageiros, expansão da produção e uso do álcool, estímulo à cogeração com bagaço e outros produtos da cana, estímulo à energia eólica interligada ao sistema elétrico brasileiro, estímulo ao uso de energias renováveis em sistemas isolados, aumento da eficiência no transporte de carga.

grama⁶⁸. Esta ação seria perfeitamente aplicada a motores, já que o potencial existe, mas não interessa aos industriais investir em algo que não seja o seu negócio. Os contratos de *performance* apontam neste sentido, mas, como vimos no estudo, a troca ao final da vida útil é mais rentável e, portanto, seria necessário mais criatividade para explorar todo o potencial.

c. Adoção de metas de redução de índices de intensidade energética: a idéia dos autores (GELLER et al., 2003, p. 7) é que as indústrias negociem com o governo, voluntariamente, as metas, com o intermédio do Procel para apoio técnico, sendo remuneradas com redução de impostos para aquisição de equipamentos eficientes, protegidas contra aumentos em combustíveis e privilegiadas em caso de racionamento de energia. Eles estimam em 2,4% a redução no consumo total de energia devido ao aumento de eficiência no uso da energia elétrica. Esta medida parece ser excelente para explorar o potencial de conservação de energia em motores, já que as trocas poderiam ser feitas ao final da sua vida útil.

Há, portanto, várias políticas públicas possíveis de incentivo. Entre os mecanismos de mercado possíveis de explorar o potencial de economia, o mais interessante parece ser o “contrato de performance” (ver nota de rodapé 31, na página 40). Como, para o estabelecimento do contrato, é necessário um diagnóstico dos motores em uma fábrica, há um efeito residual importante produzido pelo processo de análise, pelo seu relatório – onde constam todos os motores, pelos resultados obtidos e, assim, os motores não contemplados no contrato, poderiam ser trocados ao final da vida útil.

Para desenvolver um mercado sustentável no Brasil de contratos de performance, o Banco Mundial/UNEP está patrocinando um contrato com o IbmeC (<http://www.ibmec.br/>), uma empresa de educação e formação profissional nas áreas de economia e negócios, denominado “Programa de Incentivo ao Desenvolvimento de Mercado Financeiro para Eficiência Energética”, com o apoio de várias entidades, inclusive o Procel e colaboração do MME. Além dessas entidades, o projeto está congregando ESCOs e bancos privados. Este tipo de contrato será discutido a seguir.

⁶⁸ Geller et al. (2003) chegam a propor criar um bônus de 10-20% do benefício social do programa que poderia ser resarcido às distribuidoras através de um aumento das tarifas de energia.

6.2 Contratos de *performance*

A essência do contrato é simples: o investimento deve ser remunerado com a economia de energia obtida. Há, no mínimo, três partes envolvidas: a empresa onde se dará a economia, que terá seus equipamentos trocados e uma redução na conta de energia elétrica; a ESCO, que fará o estudo e o acompanhamento técnico, que também será remunerada por uma parte da economia obtida; e o financiador (teoricamente, pode ser a própria ESCO), cujos investimento e risco serão remunerados pela energia não gasta.

Delgado (1996, p. 97-106) descreve com detalhes a estrutura vislumbrada no início dos anos oitenta para as ESCO (naquele trabalho denominada ESE) e os contratos de *performance*. Aponta, em seguida (DELGADO, op. cit., p. 106-107), as barreiras para o seu estabelecimento. Não se dispõe do número de contratos estabelecidos, nem do montante envolvido. Há várias experiências, porém ainda não é comum ao mercado financeiro, daí o esforço do Banco Mundial para fomentar este tipo de ação.

Os riscos do contrato de *performance* são grandes e o acordo, na prática, torna-se difícil. Stoner Jr. e Poole (2003), no relatório preparatório para o projeto do Banco Mundial descrito acima, citam os principais riscos e estratégias de mitigação:

- a. **Risco Brasil:** como os financiamentos previstos são externos, ainda há, apesar da estabilidade do Real experimentada durante o novo governo, um receio quanto a novas desvalorizações, como as presenciadas em 2001 e 2002. Recomenda-se centrar em projetos com prazos de retorno pequenos.
- b. **Inflação:** aqui teme-se o diferente impacto que pode ter a implantação do projeto, já que os custos com pessoal técnico e equipamentos estão sujeitos a reajustes diferentes dos a que as ESCOs estão submetidas. Os projetos devem sermeticulosamente examinados quanto a estes custos.
- c. **Riscos ambientais:** em particular, onde são usados produtos perigosos. O contrato deve prever este risco para a empresa beneficiária.
- d. **Riscos de *performance*:** é normal haver mudanças no modo de operação ou custo da energia, que impactem na economia obtida. Alterações de matéria-prima, temperatura, padrões de operação, horário de trabalho podem provocar mudanças grandes no consumo de energia e nas economias calculadas. É pre-

ciso estipular com antecedência como estas mudanças modificarão as condições de contrato.

- e. **Obrigações contratuais:** precisa-se provisionar seguro para casos de a empresa parar suas atividades, acidentes de trabalho, roubo, incêndio e outras eventualidades que podem ocorrer no longo período do contrato.
- f. **Riscos do financiador:** como a ESCO fará toda a parte técnica: projeto, implantação, medição e verificação, é preciso que o financiador crie seus mecanismos para se assegurar de sua consistência.
- g. **Altos custos de transação:** os custos para viabilização do projeto podem ser altos demais para pequenos projetos de eficientização.
- h. **Demora nos resultados:** o tempo entre a implantação de um projeto e o início da redução na conta de energia pode ser maior do que o esperado, o que deve ser bem planejado.
- i. **Garantia na economia:** é preciso verificar se a economia esperada foi realmente atingida. Isto, hoje, é uma parte importante da Eficiência Energética, chamada M&V (medição e verificação⁶⁹), da qual trataremos em seguida.

6.2.1 Medição e Verificação

Uma dificuldade nos contratos de *performance* é a apuração da economia realmente obtida, já que não pode haver medição direta. Há uma situação de referência, anterior às medidas de conservação de energia (MCE) e uma situação posterior, onde algumas variáveis que interferem no consumo de energia podem ter mudado (nível de produção, condições meteorológicas, padrões de trabalho).

Técnicas têm sido desenvolvidas para resolver este problema, chamadas de M&V (medição e verificação). A tendência é para uma normalização internacional, atualmente em construção no International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP Inc., <http://www.ipmvp.org/>), organização sem fins lucrativos que há oito anos congrega cerca de 300 profissionais de todo o mundo melhorando os protocolos, financiada pelo Departamento de Energia dos EUA e outras entidades. Do Brasil, parti-

cipam o INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética (<http://www.inee.gov.br/>) e o Procel. A justificativa para tal esforço é a tentativa de dar segurança ao investidor no retorno financeiro dos projetos de conservação de energia, bem como servir de base para dirimir dúvidas e contendas entre ESCO e proprietário durante a vigência do contrato. As observações abaixo estão baseadas no protocolo do IPMVP (IPMVP, 2003).

O princípio geral é que economias não podem ser medidas diretamente, pois ou o sistema está funcionando nas condições habituais (referência) ou já foi modificado. O modo mais preciso de definir a economia talvez seja a diferença entre a energia que o sistema demandaria se não houvesse a MCE e a que realmente foi gasta. As medições e verificações devem, portanto, ser feitas antes e depois da implantação das medidas.

6.2.1.1 Tipos de M&V

Não há um tipo de M&V que atenda a todos os casos. Existem 4 tipos principais, que se adequam às exigências de precisão e preço. Quando a carga é constante, o processo se simplifica pois a incerteza passa a ser o tempo de funcionamento, podendo a potência ser medida pontualmente, por curto tempo. Quando a carga é variável, há que se estimar as variáveis que a afetam, seja por meio de medições mais prolongadas, seja por meio de algoritmos matemáticos. O IPMVP estabelece 4 tipos de estimativa:

- **Tipo A: Medidas Parciais de Projetos Isolados** – Economias são determinadas por medições no campo de sistemas isolados que foram submetidos às MCE (iluminação, motores, etc.). As medições podem ser por curto período ou contínuas. As variáveis não medidas (por exemplo, tempo de funcionamento) são, em geral, facilmente estimadas e seu erro não deve interferir muito. O cálculo da economia é feito pela composição das variáveis medidas e das estipuladas. A aplicação típica citada no MVP é o *retrofit* de iluminação, onde a potência consumida é medida e o número de horas estimado.
- **Tipo B: Medidas de Projetos Isolados** – Também são medidas nos sistemas submetidos às MCE isolados do resto da instalação, porém não há aqui variável importante estimada, já que um erro pode interferir bastante no

⁶⁹ Em inglês, M&V - Measurement & Verification.

resultado. As medições podem ser por curto período mas são, em geral, contínuas. Caso típico é a aplicação de AVV em bombas com carga variável.

- **Tipo C: Instalação completa** – Aqui as MCE são de tal monta que afetam o consumo de energia como um todo e podem, portanto, ser avaliadas a partir da conta de energia elétrica, por exemplo. Havendo variável que interfira significativamente no consumo, como as condições do tempo ou quantidade ou tipo de produção, análises de regressão podem corrigir os valores medidos. É o caso de sistemas de gerenciamento de energia, cuja influência só pode ser avaliada de maneira global.
- **Tipo D: Simulação** – Neste tipo de medição não estão disponíveis os valores de referência, que devem, portanto, ser estimados a partir dos dados do período posterior à implantação das MCE. Este tipo requer um tratamento matemático complexo, com o estabelecimento de um modelo, cujos parâmetros serão ajustados a partir dos dados de medição obtidos.

6.2.1.2 Plano de M&V

O IPMVP recomenda fortemente a adoção de um plano de M&V, referenciado no contrato, que sirva de base à solução de dúvidas ou contendas. Deste plano devem constar:

- a. **Uma descrição das MCE e seus objetivos:** Medidas simples como *retrofit* de iluminação, por exemplo, podem sofrer vários questionamentos: o nível de iluminamento piorou, a iluminação não está uniforme como era antes, o nível de cor da iluminação mudou, as lâmpadas “queimam” muito, os reatores estão adicionando um nível alto de harmônicos na rede, etc.
- b. **Identificação dos limites das MCE.** Especialmente em medidas que serão avaliadas pela conta de energia ou medidores englobando vários equipamentos, os limites devem ser bem definidos. Como os prazos são longos (5 anos, em geral), muitas coisas mudam no decorrer deste período.
- c. **Descrição das condições de referência (ano base) e respectivos dados de consumo de energia.** O IPMVP chama a atenção que os diagnósticos energé-

ticos, em geral, não servem para este fim. Uma documentação pormenorizada, feita por uma parte e sancionada pela outra, deve conter⁷⁰:

- Consumo de energia e perfil de demanda
- Tipo de ocupação, densidade e períodos (recomendável incluir variáveis de contorno, como temperatura, umidade, grau de conforto, por exemplo, em sistemas de ar condicionado – uma troca de motor de *fan-coil* num teatro do centro do Rio de Janeiro, por exemplo, até hoje apresenta problemas porque os usuários não se sentem tão confortáveis⁷¹)
- Relação de equipamentos, com dados de placa, locação e condições de operação e manutenção. Recomendável documentar com fotos, filmes, etc.
- Dados de operação: especificações, *set-points*, dados reais de operação
- Problemas significativos que ocorrem com os equipamentos atuais e paradas provocadas

- d. Identificação de mudanças planejadas para os hábitos operacionais**
- e. Identificação do período de vigência do contrato**, que pode ser tão curto quanto um minuto de avaliação do resultado das MCE ou tão longo quanto o pagamento do investimento
- f. Estabelecimento do conjunto de condições nas quais as medições serão referenciadas** (nível de produção, temperatura, pressão, etc.), que podem ser as do período pós-implantação ou outras fixadas entre as partes
- g. Especificação do projeto, execução e comissionamento das MCE** a implementar
- h. Especificação do tipo (A a D) de M&V adotado**

⁷⁰ A documentação da situação atual deve ser proporcional aos limites e abrangência do projeto. Tipicamente são necessárias auditorias, verificações, inspeções e medições instantâneas ou por períodos curtos. Nos casos de M&V tipos C e D, condições gerais devem ser relatadas.

⁷¹ Experiência pessoal do autor, quando em serviço para uma ESCO, que havia implantado medidas de eficientização no sistema de ar condicionado de um teatro municipal do Rio de Janeiro.

- i. Especificação detalhada do procedimento, inclusive algoritmos, de como será calculada a economia de energia e custos relacionados
- j. Especificação dos pontos de medição, instrumentos, incertezas, rotinas, pessoal envolvido, método de aprovação
- k. Para medições tipo A, especificação dos parâmetros assumidos e sua influência no cálculo da economia, bem como estimativa da incerteza a que pode levar
- l. Para a opção D, especificação do software e versão adotada. Descrição do processo de obtenção das variáveis de entrada, medidas e estimadas.
- m. Especificação dos procedimentos de qualidade adotados
- n. Quantificação da precisão esperada das medidas, dados obtidos e análises. Descrição qualitativa do impacto esperado de fatores não quantificáveis que possam afetar o resultado das MCE
- o. Especificação do relatório de medição e apuração dos resultados. Acrescentar exemplo do relatório
- p. Especificação das variáveis que estarão disponíveis para verificação da outra parte, se requerido
- q. Quando houver previsão de ampliação ou modificação das condições de referência, especificar o método a adotar para alterá-las
- r. Definição do orçamento e recursos requeridos para determinação da economia obtida, tanto iniciais como durante o período de medição.

6.3 Estimativa do potencial – proposição de metodologia

Já que a amostra utilizada neste trabalho tem reduzido valor estatístico, assim como a projeção feita para o Brasil, indicaremos aqui uma proposta para que isto seja feito de forma sistemática. Na base da proposta está a idéia de que os dados só se encontram no chão-de-fábrica e que só através de medição direta no campo se pode chegar a resultados confiáveis. Mais uma vez, queremos responder às perguntas feitas na introdução deste trabalho.

6.3.1 Amostra

Parece-nos adequado adotar a estrutura do Balanço Energético Nacional, onde os dados de consumo de energia já estão disponíveis, com o desmembramento de alguns setores, a exemplo do BEU 93 (MME, 1995), a saber:

Tabela 40 – Setores industriais a considerar

Alimentos e bebidas exceto açúcar	Separar a indústria do açúcar como no BEU 93 (MME, 1995), pelas suas peculiaridades.
Açúcar	
Cerâmica	
Cimento	
Ferro-gusa e aço	
Ferro-ligas	
Mineração e pelotização	
Não ferrosos e outros metais	Considerando a indústria de alumínio como um setor independente, pelas suas características peculiares de consumo de energia eletroquímica.
Alumínio	
Papel e celulose	
Química exceto soda-cloro	Pelas mesmas razões do alumínio, considerar separadamente a indústria de soda-cloro.
Soda-cloro	
Têxtil	
Outras	

O passo seguinte seria examinar a estrutura de cada setor (número de empresas, porte das empresas, diferenças tecnológicas que pudessem impactar no uso da força motriz) e determinar um número suficiente para amostragem.

6.3.2 Análise por fábrica

Em cada indústria escolhida, será preciso executar as tarefas da Tabela 41.

Tabela 41 – Análise por fábrica

Custo da energia elétrica	Analisar os dados de consumo de energia elétrica dos últimos 12 meses, atualizar pela tarifa vigente, determinando o custo do MWh.
Consumo dos motores	Efetuar medições em quadros de distribuição, visando estimar a parcela de energia elétrica destinada a motores elétricos.
Dados dos motores	Levantar os dados de potência e rotação nominal de cada motor e o número de horas de funcionamento anual.
Medição dos motores	Medir a potência elétrica de cada motor em regime de funcionamento normal.
Consolidação dos dados	Conciliar o consumo e demanda estimados para o conjunto dos motores com a soma das grandezas medidas em cada motor.
Análise dos resultados	Verificar o carregamento e estimar o rendimento de cada motor, analisan-

	do a viabilidade de troca por motor de alto rendimento.
Elaboração de relatório	Elaborar relatório com os dados utilizados e resultado da análise, indicando as possíveis oportunidades de troca dos motores, imediatas e ao final de vida útil.
Banco de dados	Preencher os dados em um banco de dados a ser organizado de modo a, ao final da coleta de dados em toda a amostra, compor um quadro da indústria brasileira.

6.3.3 Banco de dados

Do banco de dados a ser elaborado, deverá constar:

6.3.3.1 Por indústria

Tabela 42 – Dados por indústria

Setor industrial	Conforme relacionado na Tabela 40.
Nome, localização e contato	Dados para futuras referências
Dados do levantamento	Data, executante e informante
Produto	Principal produto fabricado
Produção	Dados de produção dos últimos 12 meses, quando disponível, para se calcular o índice energético (MWh/ton)
Dados de consumo e demanda de energia elétrica	Nos horários de ponta e fora-de-ponta nos últimos 12 meses
Tarifa	Modelo tarifário adotado e demandas contratadas, para se estimar o custo médio da energia elétrica
Consumo dos motores	Percentual de consumo e demanda dedicado aos motores elétricos, registrando-se o método de cálculo
Regime de funcionamento	Horários de funcionamento e paradas para manutenção

6.3.3.2 Por motor

Máquina acionada	
Dados nominais	Potência, rotação, corrente e tensão
Dados de instalação	Fabricante, tipo (padrão ou alto rendimento), tipo de acoplamento, condições da instalação elétrica e mecânica, rebobinado ou não
Dados de operação	Potência elétrica média e máxima e número de horas de operação
Carregamento	A ser estimado pela análise
Rendimento	A ser estimado pela análise
Dados de consumo	Potência, energia e custo da energia, a serem estimados pela análise
Viabilidade de troca	Investimento para troca, custo evitado, calculados para troca imediata e ao final da vida útil do motor

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Resultados da Lei de Eficiência Energética para Motores

A análise dos dados amostrados, congregando um conjunto de 18 fábricas e um total de 2.119 motores, e a projeção feita para o conjunto da indústria brasileira permite concluir que a Lei de Eficiência Energética trará uma importante contribuição para o uso mais eficiente da energia em motores. As projeções feitas, que devem ser consolidadas por estudo adequado, apontam para 1% de economia na energia demandada.

A análise foi feita através de medições no campo de corrente ou potência que permitiram estimar-se, através das curvas de desempenho de motores padrão (adotadas as curvas dos motores Weg anteriores à promulgação da Lei), o seu carregamento. A potência mecânica, assim determinada, aplicada às curvas supostas para os novos motores previstos na Lei, serviu para estimar o seu rendimento e, consequentemente, os ganhos de energia obtidos.

7.2 Outras Oportunidades de Uso Mais Eficiente de Energia em Motores

Usaram-se também os dados obtidos para estudar outras oportunidades de eficientização, que mostraram poder resultar em economias ainda maiores. Entre elas, foram estudadas o dimensionamento correto dos motores e o uso de motores de alto rendimento.

7.2.1 Dimensionamento Correto dos Motores

Os motores da nossa indústria têm baixo carregamento. O valor médio nos motores estudados foi estimado em 68%, sendo a média dos carregamentos 61%. Foi estudada a hipótese de se adequarem todos os motores à carga acionada. Isto exigiria um investimento em estudo de engenharia para o dimensionamento correto dos motores e um investimento para a troca das unidades sobredimensionadas, com eventuais adaptações mecânicas (base, acoplamento) e elétricas (relé térmico). Supôs-se que esta troca seria feita ao final da vida útil dos motores. Mais de 1% de energia poderia ser economizado com esta medida.

7.2.2 Adoção dos índices dos motores de alto rendimento

A Lei de Eficiência Energética prevê dois tipos de índices mínimos, ambos estabelecidos para cada potência nominal e velocidade (2, 4, 6 e 8 pólos) – ver Tabela 2, na página 14. Foi estudada a hipótese dos índices estipulados para motores padrão serem aqueles atribuídos aos motores de alto rendimento, usando a mesma metodologia descrita acima. Neste caso, uma economia significativamente maior seria obtida, chegando a algo entre 2 e 3%.

Isto, no entanto, demandaria um investimento adicional, já que o custo de fabricação destes motores é maior: mesmo supondo-se um custo de 30% a mais, o investimento adicional seria viável, com boa relação custo-benefício.

Pode-se concluir que uma pesquisa visando o estabelecimento de índices ótimos de eficiência energética seria viável.

7.2.3 Troca por motores de alto rendimento

Quando uma ESCO executa um diagnóstico energético em determinada instalação, o estudo que faz para implantação de motores de alto rendimento supõe a troca imediata (com adequação da potência do motor à carga acionada) daqueles considerados viáveis. Neste caso, o investimento é alto, pois a vida útil remanescente do motor existente não é aproveitada. Neste trabalho, foi aplicada esta hipótese à amostra colhida, que mostrou haver um potencial de troca para cerca de 30% dos motores com um ganho de energia na faixa de 1%.

Quando se considera, no entanto, que esta troca é feita ao final da vida útil dos motores existentes, o ganho aumenta consideravelmente, ficando na casa de 3 a 4%. Isto mostra que, quando conduzido de forma integrada ao pessoal da indústria, o diagnóstico pode gerar efeitos residuais importantes.

7.3 A exploração do potencial de conservação de energia em motores elétricos

Embora não se tenha uma avaliação precisa do potencial já explorado da eficientização de motores, há sinais de que muito já foi feito mas que ainda resta um bom potencial a explorar. O item 6.3, na página 114, propõe uma metodologia para avaliar este potencial. A própria avaliação em si traria ganhos imediatos e teria efeitos residuais im-

portantes. Como a adoção dos rendimentos estipulados pela Lei de Eficiência Energética para motores de alto rendimento seria viável, do ponto de vista econômico, para as empresas, outro resultado interessante do estudo proposto seria o dimensionamento ótimo dos rendimentos a adotar.

7.3.1 Os contratos de *performance*

O mecanismo de mercado mais conhecido para explorar o potencial são os chamados “contratos de performance”, onde participam três agentes, todos três remunerados pela economia de energia: o proprietário da instalação, a ESCO e o financiador. O proprietário, além de ter suas instalações modernizadas, passa a usufruir da economia de energia ao fim do contrato (e, em muitos casos, de uma parcela durante a sua vigência); a ESCO, que realiza os estudos e faz a tramitação do processo; e o agente financiador, que pode ser a própria ESCO.

Este mecanismo pode explorar parte do potencial, como se viu na 4^a análise, no item 5.8 (página 98). Entretanto, ainda há dificuldades para consolidação deste modelo no mercado brasileiro – os riscos envolvidos foram discutidos no item 6.2 (página 107).

Outra dificuldade dos contratos de *performance* são os processos de medição e verificação (M&V), já que a economia não pode ser medida diretamente, mas estimada pela diferença entre o que foi consumido e o que seria consumido se não houvesse a implantação das medidas de eficientização. Como muitas variáveis interferem no processo (por exemplo, potência, tempo de utilização, nível de produção, temperatura ambiente, ocupação dos recintos), é preciso definir claramente como elas influenciam no consumo de energia. Hoje já há até normas internacionais, capitaneadas pelo IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol (2003), cujos principais pontos foram comentados na tese.

7.3.2 Políticas Públicas

A adoção de algumas políticas públicas favoreceria a exploração do potencial de conservação de energia em motores. Entre estas as sugeridas por Geller et al. (2003), em recente trabalho, parecem adequadas ao incentivo de uso de motores de alto rendimento:

- o estabelecimento de metas de aumento de eficiência energética para indústrias, que adeririam voluntariamente ao programa em troca de facilidades na compra de energia, especialmente em condições de escassez e redução de impostos para compra de equipamentos eficientes;
- o aumento do percentual de faturamento das distribuidoras de energia elétrica obrigatório para aplicação em eficiência energética. O fundo seria gerido parte pelas próprias distribuidoras e parte pelos organismos estatais, podendo estimular o desenvolvimento de um mercado sustentável de eficiência energética, inclusive com aumento dos prazos requeridos para o retorno de capital.

7.4 Balanço de Energia Útil

O BEU – Balanço de Energia Útil, pela sua estrutura e análises que proporciona, é uma ferramenta importante para se entender e avaliar as oportunidades de melhoria do uso da energia. Nesta tese, foi usada a última revisão de 1995, com dados de 1993 (BEU 1993, MME, 1995), para a estrutura de uso da energia (parcelas de uso final por setor e por combustível e rendimentos das conversões associadas), nela inserindo-se os dados de consumo de energia final de 2001 (BEN 2001, MME, 2002). No entanto, é natural supor-se que a estrutura da indústria tenha sofrido uma grande mudança de 1993 para cá. Considerando que o BEU tem aparecido de 10 em 10 anos (1983 e 1993), seria muito oportuna uma edição com os dados deste ano.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética.** Brasília – DF: Aneel, 7.out.2002.

Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 8.nov.2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL e AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP. **Eficiência Energética: Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios.** Organizado por J. Haddad e S. C. Aguiar. Elaborado por A. R. S. Martins et al. Brasília: ANEEL e ANP, 1999.

ALMEIDA, M. A. **O Potencial de Redução do Consumo de Energia Elétrica em Sistemas Eletromecânicos:** Análise de Alternativas para seu Melhor Aproveitamento. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). 2001. 447 p. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

AMERICO, M. **Sistemas Motrizes:** Eficiência Energética e Técnicas de Acionamento. Apresentações em Power-Point em curso Cepel/Sebrae-RJ/UFF. Niterói-RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADEE. **Perspectivas do Setor Elétrico:** Visão dos Investidores Privados. Palestra em Power Point, apresentada em 24.fev.2003, Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.abrace.org.br/politica_energetica.html. Acesso em: 21.ago.2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. Vendas de motores elétricos [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por agenorgarcia@terra.com.br em 11.jul.2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:** Informação e documentação – Apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2001.

BORTONI, E. C. e outros. **Análise do Reparo de Motores de Indução Trifásicos.** Trabalho apresentado no XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, PR, out.1999. Disponível em <http://www.itaipu.gov.br/xvsnptee/xvsnptee/stc/stc04.pdf>. Acesso em 25.abr.2003.

BDMOTOR. Rio de Janeiro: Sebrae-RJ, [199-]. Programa. 2 disquetes 3 ½ pol.

BRASIL. Decreto 4.508 de 11.dez.02. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 12.dez.2002.

Disponível em:

<http://www.energiabrasil.gov.br/decretos/decreto4508.pdf>. Acesso em 24.abr.2003.

BRASIL. Decreto 4.059 de 19.dez.01. 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 24.abr.2003.

BRASIL. Lei 10.295, de 17.out.01 – “**Lei de Eficiência Energética**”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 18.out.2001. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

COMITÊ COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS – CCPE. MME. **PLANO DECENAL DE EXPANSÃO. 2001 – 2010**: Brasília – DF, 2000. Disponível em: <http://www.ccpe.gov.br/index.asp>. Acesso em: 16.nov.2003.

COMITÊ COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS – CCPE. MME. **PLANO DECENAL DE EXPANSÃO. Sumário Executivo 2003 – 2012**: Versão Preliminar. Brasília – DF, 2002. Disponível em: <http://www.ccpe.gov.br/index.asp>. Acesso em: 16.nov.2003.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – CGIEE. MME. **Implementação da Lei de Eficiência Energética. Relatório de Atividades – maio a dezembro.2002**. Preparado por ASSUMPÇÃO, M. G. Brasília, dez. 2002. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – CGIEE. **Plano de trabalho - Implementação da Lei de Eficiência Energética**.

Brasília, julho.2002. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

COLLABORATIVE LABELING AND APPLIANCE STANDARDS PROGRAM (CLASP). Autores principais: Wiel, S. e McMahon, J. E. **Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment, and Lighting.** Washington, D.C. 2001. Disponível em: <http://www.clasponline.org/download/General/2001/211/index.php3>. Acesso em: 21.jul.2003.

DELGADO, M. A. P. – **Alternativas para o Aumento da Eficiência Energética no Brasil:** Uma Análise Técnico-Econômica para Viabilização de Motores Elétricos de Alto Rendimento e o Caso das Empresas de Serviços de Energia – 1996, 165 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

EBERLE – Sala de Imprensa. Apresenta notícias relativas à empresa. **Eberle consegue linha do BB para motor econômico.** Disponível em: <http://www.gem.ind.br/press24.htm>. Acesso em: 19.set.2003.

ELETROBRÁS. CEPEL. PROCEL. CATE – Centro de Aplicação de Tecnologias Eficientes. **Guia Operacional de Motores Elétricos.** Rio de Janeiro [?]: [s.n.], [199-].

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ (EFEI).. **Conservação de Energia:** Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. Apoio ELETROBRÁS / PROCEL Itajubá – MG: FUPAI, 2001.

Fazendo o Mundo Girar: Weg Motores Ltda. **Mercosul Magazine.** [S.l.],[out.2003?]. Disponível em: http://www.mercosulsearch.com.br/magazine/firma_semana3010.htm. Acesso em: 4.agosto.2003.

FARIA, R. W. e SANTOS, M. M. F. Aplicação da Experiência Alemã em Eficiência Energética nas Pequenas Empresas Brasileiras. In **IX CBE – Congresso Brasileiro de Energia**, Anais, p. 1241-1249. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

FILIPPO FILHO, G. **Motor de Indução.** São Paulo: Érica, 2000.

FROTA, F. I. A. Palestra proferida pelo superintendente de Regulação de Comercialização de Eletricidade – Aneel, em 28.nov.2002, no Seminário Eficiência Energética: Soluções Tecnológicas, organizado pela Firjan/Sebrae/Senai, no Rio de Janeiro

GELLER, H. S.: **O Uso Eficiente da Eletricidade:** uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, 1994.

GELLER, H. S. et al. The efficient use of electricity in Brazil: progress and opportunities. **Energy Policy**, vol. 26, no 11, p. 859-872, 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10.set.2003.

GELLER, H. S. **Energy Revolution:** Policies for a Sustainable Future. Washington: Island Press, 2003.

GELLER, H. S. et al. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy**. 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10.set.2003.

INTERNATIONAL PERFORMANCE MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL. IPMVP. **Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance.** Tradução do Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE. Julho. 2003. Disponível em: <http://www.ipmvp.org/Documents/IPMVP-vol1-portuguese.pdf>. Acesso em: 22.nov.2003.

JANNUZZI, G. de M., SWISHER, J. N. P. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos:** Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis. Campinas – SP: Autores Associados, 1997.

JANNUZZI, G. de M. e GOMES, R. D. M. A Experiência Brasileira Pós-Privatização em Programas de Eficiência Energética e P&D: Lições das Iniciativas de Regulação e da Crise Energética. In: **IX Congresso Brasileiro de Energia**. Anais, p. 1477-1485. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

KOSOW, I. L. **Máquinas Elétricas e Transformadores.** 4.ed. Tradução de Felipe Daiello e Percy Soares. Porto Alegre: Globo, 1982. 2 v.

LA ROVERE, E. L. Um Enfoque Alternativo para o Planejamento Energético. **Revista ABG**, jun.1986.

LOPES, F. A. e LISBOA, M. L. V. O Projeto da Eletrobrás/Procel com Recursos do Banco Mundial e GEF. **XVI SNPTEE**. Campinas, 21 a 26.out.2001. Disponível em:
http://www.xviisnptee.com.br/acervo_tecnico/memoria/xvi/14_Secao_II_Sce/sce-002.pdf. Acesso em: 16.nov.2003.

MACHADO, A. C. Comentários sobre Eficiência Energética e Termos Relacionados. In: IX Congresso Brasileiro de Energia, 2002, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002, v. III, p. 1258-1264.

MENKES, M. **Instrumentos econômicos aplicados em programas de eficiência energética**. UNICAMP, 2003. Disponível em:
http://nepam.unicamp.br/ecoeco/artigos/encontros/iv_en/mesa3/1.pdf. Acesso em: 25.ago.2003.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanço de Energia Útil**. Ano Base 1993. Brasília, 1995. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 15.mar.2003.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria de Energia. Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético. **Eficiência Energética**. Brasília, dez.2001. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/desenvenergetico/Documentos>. Acesso em: 25.abr.2003.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2002**: Ano Base 2001. Brasília, dez.2002. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 15.mar.2003.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Secretaria do Desenvolvimento da Produção. **Anuário Estatístico 2003**. Brasília, abril.2003. Disponível em:
<http://www.mdic.gov.br/indicadores/doc/anuarioIndicGerais.xls>. Acesso em: 13.agosto.2003.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Apresenta dados sobre o Sistema Interligado Nacional. Disponível em:
<http://www.ons.org.br/ons/sin/index.htm>. Acesso em: 13.agosto.2003.

- POOLE, A. D., GELLER, H. S. **O Novo Mercado de Serviços de Eficiência Energética no Brasil.** Rio de Janeiro: INEE, 1997. Disponível em: <http://www.inee.org.br/>. Acesso em: 11.set.01.
- PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Dados contidos na página da internet.** Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/procel/1.htm>. Acesso em: 26.agosto.2003.
- RAAD, A. **Identificação e análise das soluções e barreiras à eficiência energética no caso do setor elétrico brasileiro.** 1999. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.
- SCHAEFFER, R. **Avaliação dos Programas de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica Desenvolvidos por Empresas Distribuidoras de Energia Elétrica no Ciclo 1998/1999.** COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001, 1996 p. e anexos.
- SOARES, G. A., HERSZTERG, I. e TABOSA, R. Os Motores de Indução de Alto Rendimento dentro de uma Visão de Gerenciamento pelo Lado da Demanda. In **XIV SNPTEE**. Belém-PA, 1997.
- STONER JR., T. H. e POOLE, A. D. **A Financial Model for Evaluating Projects with Performance Contracts:** Report to the Energy Financial Task Force. Draft June 20, 2003. [S.l.], 2003. 12 p.
- TOLMASQUIM, M. T. (org.) **Fontes Alternativas de Energia e Universalização dos Serviços de Energia Elétrica.** Em edição. Rio de Janeiro: 2003..
- TOLMASQUIM, M. T. Meio Ambiente, Eficiência Energética e Progresso Técnico. In: **Ecologia e Desenvolvimento**, APED – Associação de Pesquisa e Ensino em Ecologia e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: 1992.
- TOLMASQUIM, M. T., SZKLO, A. S. (coordenadores). **A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.
- VILLA VERDE, V. S. **A Conservação de Energia Elétrica no Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro.** 2000. 99 p. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

WEG. **Números**. Disponível em: <http://www.weg.com.br/>. Acesso em: 4.ago.2003.

WEG. **Catálogo Geral de Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul – SC: Weg, 2003.

Disponível em: <http://www.weg.com.br/>. Acesso em: 1.jul.2003.