

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA



**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM MOTORES
ELÉTRICOS NO BRASIL**

André Luiz dos Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA

André Luiz dos Santos

Orientador: Prof. Dr. EDSON DA COSTA BORTONI

Co-orientador: Prof. Dr. JAMIL HADDAD

*Dissertação submetida à Universidade Federal
de Itajubá, para obtenção do título de Mestre
em Ciências em Engenharia Elétrica*

Itajubá

Estado de Minas Gerais - Brasil

2005

*Aos meus pais, Argemiro e Aparecida e a minha noiva
Ana Paula*

Agradecimentos

A Deus, fonte da vida e de sabedoria.

Aos meus pais, pelas orações e apoio.

A minha noiva, companheira inseparável, pelo carinho, compreensão e amor, ajuda sem a qual muito deste trabalho não se realizaria.

Ao amigo Guilherme Sousa Bastos, pela ajuda dada para a escrita e por se tornar uma referência nos momentos de dúvida.

Agradeço de forma especial ao meu orientador Prof. Edson da Costa Bortoni, e ao meu co-orientador Prof. Jamil Haddad, pela paciência, pelo apoio constante e incentivo fornecido durante este trabalho.

“Felizes os que guardam com esmero seus preceitos e o procuram de
todo o coração;

e os que não praticam o mal, mas andam em seus caminhos.

Impusestes vossos preceitos, para serem observados fielmente;

oxalá se firmem os meus passos na observância de vossas leis”

Trecho do Salmo 118

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Diagrama Circular.....	11
Figura 2.2 - Curva do conjugado em função da rotação	12
Figura 2.3 - Curva corrente em função da rotação	13
Figura 2.4 - Circuito equivalente do motor de indução trifásico	14
Figura 2.5 - Diagrama fasorial das correntes do motor	17
Figura 3.1 - Consumo americano por setor	23
Figura 3.2 - Potencial de economia nos setores da indústria francesa	34
Figura 3.3 - Nível de satisfação dos usuários de dispositivos eletrônicos nas indústrias.....	35
Figura 3.4 - Comparação entre o consumo de energia versus fluxo, para uma saída de ar controlada e uma entrada de ar controlada.....	36
Figura 3.5 - Estrutura do mercado de motores alemão.....	48
Figura 3.6 - Consumo para a indústria alemã.....	51
Figura 3.7 - Motores elétricos na indústria, distribuição das perdas.....	52
Figura 3.8 - Energia economizada com utilização de motores de alta eficiência, 127 GWh.....	53
Figura 4.1 - Extratificação do consumo de energia elétrica no Brasil	66
Figura 4.2 - Uso Final de energia no setor industrial	66
Figura 4.3 - Venda de motores no mercado interno	67
Figura 4.4 - Tipos de uso de motores na indústria	68
Figura 4.5 - Motores de alto rendimento (A) x padrão (B)	70
Figura 4.6 - Venda de motores classificada por potência	72
Figura 4.7 - Porcentagem de ocupação dos motores no mercado brasileiro, de 1980 até o primeiro trimestre de 2003, por faixa de potência	73
Figura 4.8 - Vida úteis de motores de indução	73
Figura 4.9 - Percentual de perdas por faixa de potência para motores de 1800 rpm ..	78
Figura 4.10 - Níveis típicos de eficiência em ventiladores	82
Figura 4.11 - Variação de η_{100} em pontos %	89

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Valores de Y por categorias de motores	20
Tabela 3.1 - Eficiência mínima para motores elétricos padrão nos Estados Unidos	26
Tabela 3.2 - Compra de motores elétricos: Austrália e Nova Zelândia	30
Tabela 3.3 - Fatores de decisão e questões técnicas: ações implementadas para motores na Itália	39
Tabela 3.4 - Relação entre ações e questões técnicas	40
Tabela 3.5 - Matriz RAVEL: Principais consumidores e consumo em 1995	42
Tabela 3.6 - Energia convertida por dispositivos elétricos na Suíça em 1995.....	43
Tabela 3.7 - Motores de alta eficiência, eficiência mínima para obtenção de subsídios.....	50
Tabela 3.8 - Rendimentos nominais mínimos de motores padrão e alto rendimento.....	56
Tabela 4.1 - Vidas úteis médias para motores, por faixa de potência.....	74
Tabela 4.2 - Comparação entre o total de vendas até 2003 e o período adotado	75
Tabela 4.3 - Rendimentos e perdas para motores de 1800 rpm, de 03 fabricantes	76
Tabela 4.4 - Resultados obtidos a partir da tabela 4.3	77
Tabela 4.5 - Estimativa de energia perdida por faixa de potência de motores na indústria	79
Tabela 4.6 - Economia de energia esperada, substituindo parcelas do total de motores até 40 cv	80
Tabela 4.7 - Resultados dos ensaios antes da queima e manutenção dos motores	87
Tabela 4.8 - Resultados dos ensaios após a manutenção dos motores ...	88
Tabela 4.9 - Consumo dos motores de 1 até 300 cv	92
Tabela 4.10 - Cenário para troca de motores sobredimensionados.....	92
Tabela 4.11 - Potencial econômico para motores e sistemas com motores..	96
Tabela 4.12 - Potencial de conservação de energia em motores elétricos no Brasil.....	98

Anexo 1.A - Motores KOHLBACH-SIEMENS	108
Anexo 1.B - Motores WEG	109
Anexo 1.C - Motores EBERLE	110

Lista de Abreviaturas

ABINEE:	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica;
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACEEE:	American Council for and Energy-Efficient Economy;
ADEME:	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AMCA:	International Air Movement and Control Association;
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica;
ANP:	Agência Nacional do Petróleo;
ANIE:	National Association of Electric and Electronic Industries
ANZMEC:	Australian and New Zealand Minerals and Energy Council;
APLAC:	Asia Pacific Laboratories Accreditation Co-operation;
ASD:	Adjustable-speed drive;
BEN:	Balanço Energético Nacional;
BPA:	Bonneville Power Administration;
CA:	Corrente Alternada;
CAGI:	Compressed Air Gas Institute;
CEE:	Consortium for Energy Efficiency;
CNR:	National Research Board
CGIEE:	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética;
CONPET:	Programa Nacional de Racionalização do Uso e Derivados de Petróleo e Gás Natural;
DSM:	Demand Side Management Service
DKK	Danish Krone
ENCE:	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia;
EDF:	Serviço público francês, Electricite de France;
EASA:	Electrical Apparatus Service Association and motor repair;
EASA-Q:	Programa de certificação da EASA para padronização em reparo de motores
ENEL:	National Association of Electric and Eletronic Industries
GT-MOT:	Grupo Técnico para Motores – Regulamentação Específica de Motores (Decreto 4059 de 19 de dezembro de 2001)
HI:	Hydraulic Institute;
HVAC:	Heating, ventilation, and air conditioning system;

ISO:	Internacional Standard Organization;
INMETRO:	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial;
MEPS:	Minimum Energy Performance Standards
NEMA:	National Equipment Manufacturers Association;
OCC:	Organismo de Certificação Credenciado;
OEM:	Original Equipment Manufacturers;
PBE:	Programa Brasileiro de Etiquetagem;
PET:	Planilha de Especificação Técnica;
PROCEL:	Programa Nacional de Conservação de Energia;
R&D:	Research and Development Programs
SECV:	State Electricity Commission of Victoria higher efficiency motors and drives program

Resumo

Este trabalho faz um estudo do uso eficiente de energia elétrica em sistemas motrizes.

O estudo é feito a partir da legislação brasileira para motores trifásicos até 600 V, da experiência internacional relativa ao assunto, dos dados de venda de motores elétricos trifásicos no mercado nacional, bem como de alguns métodos para avaliar as condições de operação do motor.

Os resultados obtidos demonstram o potencial de conservação de energia em motores elétricos no Brasil.

Abstract

This work makes a study of energy-efficient motor systems .

This study is made from the brazilian's legislation for three-phase induction motors up to 600 V, of the international experience relative to the subject, of de three-phase induction motors sales data and some methods to evaluate the motors operation condition.

The gotten results demonstrate the estimate of the national savings potential in electrical motors.

Sumário

1. Introdução

1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Objetivo do Trabalho	2
1.3 Conteúdo do Trabalho	2

2. Metodologias de Avaliação de Sistemas de Acionamento

2.1 Introdução	3
2.2 Métodos Normalizados	4
2.2.1 Diagrama Circular para Motores de Indução	4
2.2.2 O Método B do IEEE-112	5
2.2.3 Máquina Dupla	6
2.2.4 Oposição Elétrica	9
2.2.5 Oposição Mecânica	10
2.3 Métodos Expeditos	10
2.3.1 Diagrama Circular Inverso para motores de indução	10
2.3.2 Método da Linearização	11
2.3.3 Método do circuito equivalente	14
2.4 Algumas considerações sobre os métodos	20

3. Programas de Eficientização de Sistemas Motrizes

3.1 Introdução	22
3.2 Panorama Mundial	22
3.2.1 Estados Unidos	22
3.2.2 Austrália e Nova Zelândia	29
3.2.3 França	33
3.2.4 Itália	38
3.2.5 Suíça	41
3.2.6 Reino Unido	45
3.2.7 Alemanha	48

3.3 Panorama Nacional	53
3.3.1 A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de energia	53
3.3.2 O Programa Brasileiro de Etiquetagem	59
3.4 Considerações	63
4. Avaliação do Potencial de Economia de Energia	
4.1 Introdução	65
4.2 Perfil do Mercado	65
4.3 O Brasil e a Experiência Internacional	68
4.3.1 Utilização de Motores de Alto Rendimento	69
4.3.2 Bombas e Ventiladores	81
4.3.3 Compressores	83
4.3.4 Aquecimento e Ar Condicionado	85
4.3.5 Manutenção e Rebobinagem de motores	87
4.3.6 Otimização do carregamento do motor	90
4.3.7 Controle de velocidade de motores	93
4.3.8 Outros controles	94
4.4 Potencial de economia brasileiro	94
5. Conclusão	99
Referências Bibliográficas	103
Anexo I	107

Capítulo 1

1. Introdução

1.1 Considerações Gerais

A energia é um bem essencial à sobrevivência humana. Sua utilização de maneira racional pode representar mais do que valores financeiros, pode representar a continuidade da própria vida, pois quando utiliza-se um recurso de maneira correta, se está preservando sua durabilidade. Como afirma Guerreiro “utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania” (PROCEL, 2001).

A palavra eficiência pode assumir vários significados, como por exemplo, poder, capacidade de produzir algo real, capacidade ou estado de ser efetivo, virtude ou característica de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros e/ou de dispêndio de energia, tempo, dinheiro ou meios (Michaelis, 2004).

Os motores de indução trifásicos são máquinas intrinsecamente eficientes, porém, no mundo todo, como os mesmos constituem-se como grande potencial para conservação de energia, tornaram-se foco de estudo, para consolidar as várias ações na busca de uma maior eficiência no consumo de energia elétrica.

Muitos países procuram trabalhar seus potenciais econômicos em sistemas que envolvem motores de diversas formas, seja através da adoção de padrões mínimos de eficiência, até adoção de normas mais rígidas.

O Brasil apresenta um considerável potencial de economia de energia em sistemas com motores. Uma grande opção para que este potencial econômico seja alcançado está na aplicação de motores e equipamentos mais eficientes. Através da

lei 10295 de 17 de dezembro de 2001 e seus decretos regulamentadores, passa a existir no País um importante mecanismo de aplicação e aprimoramento de tecnologias mais eficientes.

1.2 Objetivo do Trabalho

Este trabalho pretende estimar o potencial de economia de energia elétrica no País, através do estudo de efficientização de sistemas acionados por motores de indução trifásicos.

1.3 Conteúdo do Trabalho

O capítulo 1 faz a apresentação do trabalho, procurando justificar a importância do tema adotado, bem como o objetivo que se pretende alcançar.

Serão apresentados no capítulo 2 as Metodologias de Avaliação de Sistemas de Acionamento com os métodos normalizados e os métodos expeditos.

O capítulo 3 apresentará o Panorama Mundial e o Panorama Nacional nas ações voltadas à eficiência energética em motores. Serão ilustradas a experiência internacional voltada à utilização eficiente de energia, bem como a Política Nacional de Conservação de Energia e o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

No capítulo 4 será apresentada a Avaliação do Potencial de Economia de Energia Elétrica em Acionamentos com Motores, a partir do Balanço Energético Nacional de 2004 (Ano-Base 2003), dados sobre venda de motores obtidos através da ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, e através do estudo da experiência internacional.

Finalizando, o capítulo 5 apresenta as conclusões.

Capítulo 2

2. Metodologias de Avaliação de Sistemas de Acionamento

2.1 Introdução

A avaliação das reais condições de carregamento dos motores elétricos deve ser feita partindo-se da obtenção das diversas características de operação dos mesmos. Tais características são um conjunto de grandezas elétricas, mecânicas e térmicas que exprimem o comportamento do motor sob várias condições operativas (PROCEL, 2001).

Existem várias normas técnicas para ensaio de motores. As mesmas estabelecem os procedimentos que deverão ser adotados durante a realização dos testes, para que se possa determinar as características dos motores e os valores mínimos para sua aceitação.

Normas internacionais, como a IEEE-112 (Estados Unidos), IEC-34-2 (Europa), JEC-37 (Japão), C 390 (Canadá) e a brasileira NBR 5383, apresentam diversos métodos para a determinação do rendimento de motores de indução trifásicos.

Estes métodos podem ser divididos em dois grupos: O Método Direto, onde ambas as potências elétrica de entrada (rede) e mecânica de saída (eixo) são medidas e o Método Indireto, onde uma delas ou as duas não são medidas diretamente.

O presente capítulo apresenta algumas metodologias para avaliação de carregamento de motores, descrevendo alguns métodos e suas principais características. No entanto, o assunto não se esgota apenas com os métodos

apresentados, sendo necessário, portanto uma leitura complementar para que se possa entender do assunto de maneira mais criteriosa.

2.2 Métodos Normalizados

Métodos Normalizados: São mais indicados para aplicação em laboratório, pois o ferramental utilizado é de grande complexidade (PROCEL, 2001). Pode-se destacar: método do diagrama circular com ensaio de frequência reduzida, o método B do IEEE-112, máquina dupla, ensaio através de freio mecânico, ensaio de oposição elétrica e mecânica - método *back-to-back*, ensaio com máquina calibrada, dentre outros.

2.2.1 Diagrama Circular para Motores de Indução

O diagrama circular, desenvolvido no final da década de 20, é um método para avaliação das características dos motores de indução. Para sua construção faz-se necessário a execução de dois ensaios: o ensaio de rotor livre e ensaio de rotor bloqueado.

A partir desta metodologia torna-se possível, através de simples relações lineares e trigonométricas, obter praticamente todas as características operativas dos motores de indução trifásicos.

Esse método é utilizado pela norma japonesa (JEC-37) e, o ensaio de rotor bloqueado deve ser feito com tensão e frequência reduzidas, além de incorporar modificações para a consideração do efeito da saturação e do efeito pelicular sobre o desempenho do motor (Bortoni, 1992).

2.2.2 O Método B do IEEE-112

Dentre todos os métodos do IEEE-112, o Método B é o que melhores resultados apresenta para motores de potência nominal entre 1 e 250 HP. Este método tem sido considerado pela NEMA como o preferido para a determinação do rendimento destes motores (ELETROBRÁS, 2000).

Neste método, a potência mecânica do motor de indução é transferida para uma máquina girante, denominada Dinamômetro, que atua como um gerador entregando energia a um banco de cargas resistivas.

O conjugado de reação é medido por uma célula de carga, uma mesa de conjugado ou um torquímetro.

O dinamômetro deve ter uma capacidade apropriada, de maneira que suas próprias perdas por atrito e ventilação, na velocidade de teste, não sejam superiores a 15% da potência nominal do motor de indução que será testado.

O método consiste em medir as potências de entrada e saída para vários pontos de carga. A perda aparente total, diferença entre as perdas de entrada e saída, é então separada em seus vários componentes, com as perdas suplementares sendo definidas como a diferença entre a perda aparente total e a soma das perdas convencionais, como as perdas I^2R no estator e no rotor, perdas nos núcleos e perdas por atrito e ventilação.

Os valores das perdas suplementares para cada ponto de carga são plotados versus o quadrado do conjugado e uma regressão linear é usada para reduzir os efeitos dos erros de medição. As perdas suplementares são então ajustadas para se proceder ao cálculo do valor final das perdas totais e do rendimento.

Este teste pode ser realizado em duas etapas:

a) Teste em vazio: realizado para obtenção das perdas nos núcleos e por atrito e ventilação. O motor será alimentado com tensão e frequências nominais sem qualquer acoplamento mecânico no seu eixo. Para assegurar o valor correto das perdas por atrito e ventilação, o motor deverá ficar em rotação livre até a potência de entrada se estabilizar, fato que ocorre quando duas medições da potência de entrada, em um intervalo de meia hora, não variarem mais do que 3%. A corrente é medida em cada fase, sendo o valor médio destas correntes a corrente em vazio.

b) Teste em carga: o motor é acoplado ao dinamômetro. Inicialmente é feito um teste com o motor acionando o dinamômetro, porém sem que este último alimente qualquer carga elétrica. Isso permitirá calcular a correção que se deve considerar nos valores medidos dos conjugados em carga, compensando as perdas por atrito e ventilação do dinamômetro, quando não se utiliza um transdutor de conjugado no acoplamento entre o motor e o dinamômetro. O motor será então carregado em 6 condições de carga, em intervalos aproximadamente iguais. A menor carga não deve ser inferior a 25% da sua potência nominal, passando pelo ponto de carga 100% e chegando na carga máxima, que não deve ser superior a 150% da potência nominal do motor. No carregamento do motor, deve-se partir da mais alta carga e reduzir-se o carregamento segundo os valores definidos. Os pontos aconselhados são os de 150%, 125%, 100%, 75%, 50% e 25% da potência nominal (ELETROBRÁS, 2000).

2.2.3 Máquina Dupla

Neste método, a eficiência é determinada através de duas máquinas. As duas máquinas são acopladas juntas e eletricamente conectadas a duas fontes de energia, sendo a frequência de uma delas ajustável (IEEE std 112, 1996).

Procedimento de teste

a) Teste sob carga

Uma máquina é operada como motor com tensão e frequências nominais, e a outra máquina é operada como gerador com tensão nominal conforme a frequência, mas com baixa frequência, para produzir a carga desejada. As leituras que podem ser feitas são entradas e saídas elétricas, temperatura do enrolamento estator ou resistência do enrolamento estator e o escorregamento de cada máquina.

O teste pode ser repetido com a direção do fluxo de potência invertida. A frequência da primeira máquina fica inalterada, enquanto a segunda é elevada para produzir a carga desejada. A localização dos instrumentos e o transformador de instrumentos não devem ser mudados. Para o fluxo de potência reverso, normalmente os erros de calibração de todos os instrumentos são minimizados. Os erros de ângulo de fase do transformador de instrumentos são cumulativos para monitoração e produção do teste. Isto é importante para se fazer a correção precisa dos erros de ângulo de fase, porque farão as perdas parecerem menores do que os valores verdadeiros (IEEE std 112, 1996).

Perda de carga combinada (Método indireto)

A perda de carga é dada a seguir:

1) A perda I^2R do estator (P_{J1}), para a temperatura de teste, é calculada para cada máquina usando as correntes observadas.

2) A perda I^2R do rotor é :

$$P_{J2} = s \cdot (P_{EM} - P_{J1} - P_n) \quad (2.1)$$

Onde:

P_{J2} Perda Joule no Rotor;

s Escorregamento do motor;

P_{EM} Potência de entrada do motor;

P_{J1} Perda Joule no estator;

P_n Perda no núcleo;

Utilizando o escorregamento do motor observado por unidade da velocidade síncrona.

3) A perda I^2R do rotor do gerador:

$$P_{J2G} = s \cdot (P_{SG} + P_{J1G} + P_{nG}) \quad (2.2)$$

Onde:

P_{J2G} Perda Joule no rotor do gerador;

s Escorregamento do gerador;

P_{SG} Potência de saída do gerador;

P_{J1G} Perda Joule no estator do gerador;

P_{nG} Perda no núcleo do gerador;

Utilizando o escorregamento do gerador observado por unidade da velocidade síncrona.

4) A perda de carga combinada é dada pela subtração do total de perdas mensuradas (a diferença entre entrada e saída) à soma das perdas I^2R do estator, a soma das perdas I^2R do rotor, perdas no núcleo e as perdas de atrito e ventilação das duas máquinas.

5) As perdas de carga do motor e do gerador são assumidas como sendo proporcional ao quadrado da corrente do rotor. As mesmas podem ser:

$$P_{CM} = P_{J2} \cdot \frac{P_{CC}}{P_{J2} + P_{J2G}} \quad (2.3)$$

$$P_{CG} = P_{CC} - p_{CM} \quad (2.4)$$

Onde:

P_{CM} Perda de carga do motor;

P_{CG} Perda de carga do gerador;

A média dos resultados obtidos com as duas direções de fluxo de potência (gerador e motor) é dada pela média dos valores de perda de carga.

2.2.4 Oposição Elétrica

Este método é aplicável quando duas máquinas idênticas são avaliadas. As máquinas são acopladas mecânica e eletricamente e colocadas em operação na velocidade nominal, com um dos motores operando como gerador e o outro como motor. As perdas totais das máquinas são dadas pela análise da potência exigida pelo sistema. A temperatura real em que as medições são realizadas deve estar tão perto quanto o possível da temperatura de trabalho, sendo feitas correções quando necessário. As perdas destas máquinas são assumidas por quaisquer umas das máquinas da rede em que são conectadas, ou por um dos dispositivos de acionamento do motor, ou por um impulsor ou então pela combinação destes vários meios.

Quando as duas máquinas são conectadas eletricamente, devem mecanicamente ser acopladas com um dispositivo de ajuste da velocidade, tal como uma caixa de engrenagens, para assegurar a circulação correta de potência. O valor da potência que circula depende da diferença de velocidade. O sistema elétrico que fornece as perdas as duas máquinas será requerido para fornecer KVAR magnetizando as duas máquinas (IEEE std 112, 1996).

2.2.5 Oposição Mecânica

Método em que duas máquinas idênticas são acopladas mecanicamente juntas, e as perdas totais de ambas as máquinas são calculadas pela diferença entre a entrada elétrica de uma máquina e a saída elétrica da outra máquina.

Quando as máquinas idênticas são funcionadas essencialmente nas mesmas circunstâncias, as perdas estão supostas para ser distribuídas igualmente, e a eficiência é calculada pela metade das perdas totais e da entrada elétrica. A máquina acionada operar-se-á como um gerador da indução se uma fonte de potência reativa estiver fornecida, e uma carga apropriada estiver conectada a seus terminais.

O teste será feito o quanto possível na temperatura alcançada na operação, no fim do tempo especificado na avaliação. Nenhuma correção da temperatura do enrolamento será feita (IEEE std 112, 1996).

2.3 Métodos Expeditos

Este grupo de métodos caracteriza-se por ser de fácil aplicação em campo. Os mesmos utilizam de instrumentos como amperímetros, wattímetros alicate, tacômetros e sistemas de aquisição de dados. Algumas das metodologias que se enquadram nestas características são: diagrama circular inverso, circuito equivalente e o método da linearização.

2.3.1 Diagrama Circular Inverso para motores de indução

Trata-se de uma metodologia alternativa baseada no diagrama circular para avaliação das condições de operação de motores de indução trifásicos.

Para este diagrama os dados são de fácil obtenção em campo, evitando a realização de ensaios como o de rotor livre e rotor bloqueado, condições obrigatórias

para realização do diagrama circular convencional.

O diagrama circular inverso trabalha sobre o diagrama circular convencional, como mostrado na figura 2.1, utilizando-se de medições de potência elétrica absorvida pelo motor, corrente e rotação. Estes dados podem ser obtidos no próprio ambiente de trabalho do motor, dispensando a execução de quaisquer ensaios.

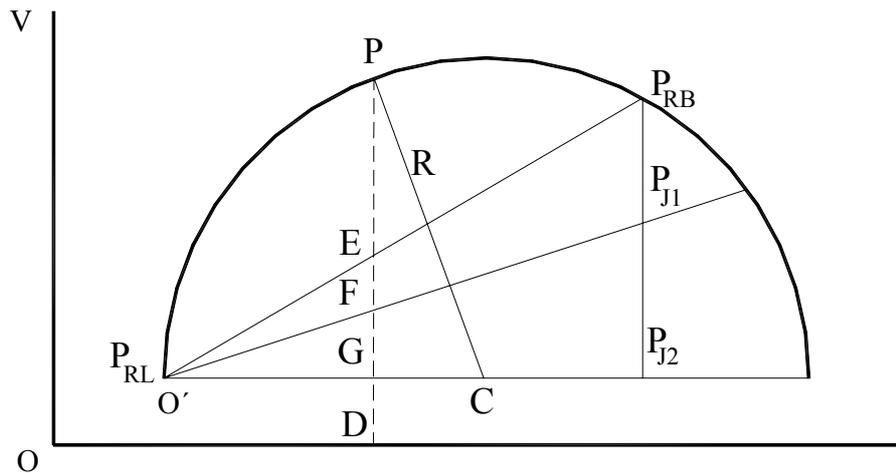


Figura 2.1 – Diagrama circular (Bortoni, 1992)

2.3.2 Método da Linearização

Este método parte de medições elementares nos motores elétricos: a corrente de trabalho (I_t), ou a rotação de trabalho (n_t). Efetuada esta medição, com o motor em suas condições reais de funcionamento, a meta final será o cálculo da potência fornecida no eixo (P_t), seguindo as seguintes fases: (Bortoni, 1992).

- Medição ou avaliação da rotação de trabalho;
- Cálculo do conjugado e potência de trabalho;
- Cálculo do rendimento do motor;
- Cálculo da potência elétrica;
- Cálculo das perdas.

A figura 2.2 ilustra o exposto.

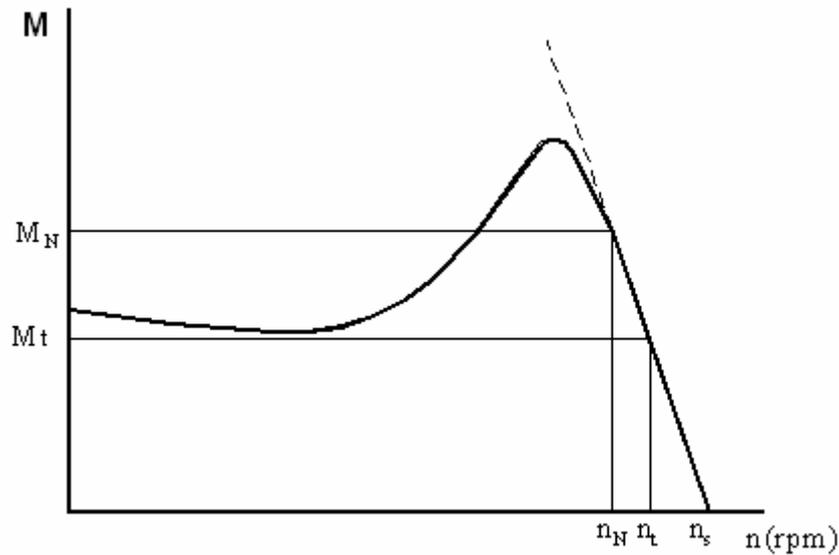


Figura 2.2 – Curva do conjugado em função da rotação (PROCEL, 2001)

Nestas condições, a partir da simples medição da rotação de trabalho pode-se obter o conjugado de trabalho, conhecendo-se o conjugado e rotação nominais e a rotação síncrona, da seguinte forma:

$$M_t = M_N \cdot \left(\frac{n_s - n_t}{n_s - n_N} \right) \quad (2.5)$$

Onde:

M: é o conjugado (cv/rpm);

n: é a rotação (rpm);

t, N e s: correspondem aos pontos de trabalho, nominal e síncrono, respectivamente.

O conjugado nominal é dado por:

$$M_N = \frac{P_N}{n_N} \quad (2.6)$$

A potência de trabalho (P_t) será dada por:

$$P_t = M_t \cdot n_t \quad (2.7)$$

Na impossibilidade da medição da rotação, pode-se estimá-la a partir da linearização da curva corrente versus rotação do motor e medição da corrente de operação, como na figura 2.3.

A rotação de trabalho será:

$$n_t = n_s - \left(\frac{I_t - I_0}{I_N - I_0} \right) \cdot (n_s - n_N) \quad (2.8)$$

Onde:

I_N : corrente nominal;

I_0 : corrente em vazio;

I_t : corrente de trabalho

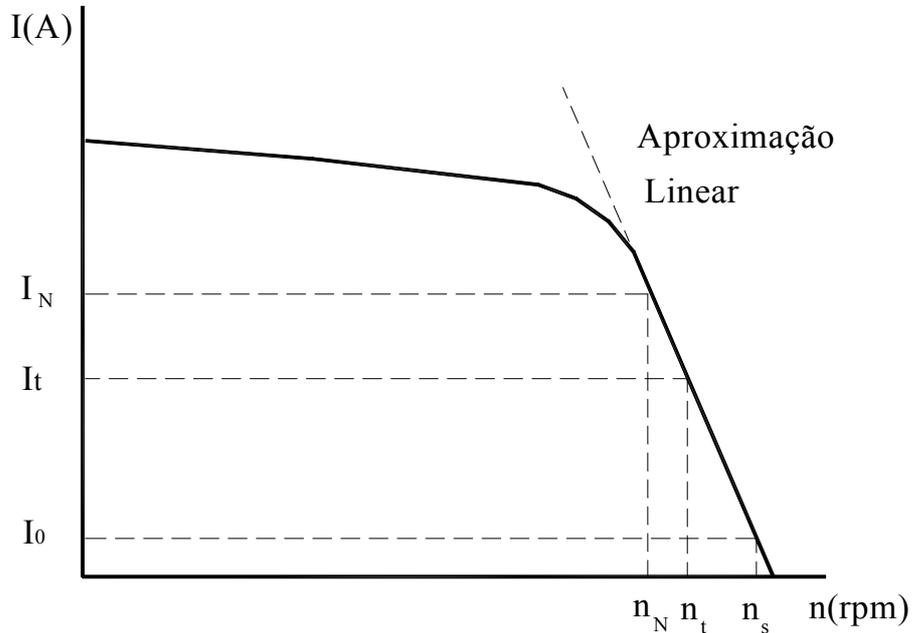


Figura 2.3 – Curva corrente em função da rotação (PROCEL, 2001)

2.3.3 Método do circuito equivalente

O equacionamento elétrico e mecânico do motor de indução trifásico para fins de especificação ou para análise de seu desempenho em um acionamento elétrico, pode ser feito a partir do seu circuito equivalente. Obtido este circuito, poderão ser determinadas equações de conjugado, corrente elétrica, de perdas e outros, que permitirão a análise do comportamento do motor.

O circuito equivalente do motor de indução trifásico é o apresentado na figura 2.4. Note-se que esta é uma representação para cada fase do motor.

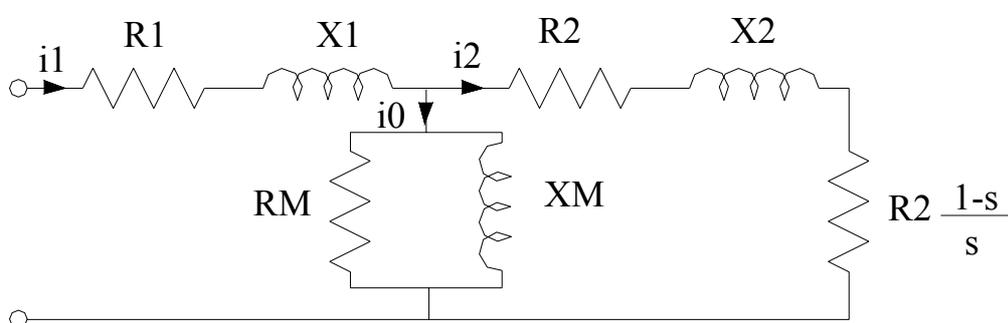


Figura 2.4 – Circuito equivalente do motor de indução trifásico (Bortoni, 1992)

Onde:

- R1: Resistência do circuito do estator;
- X1: Reatância do circuito do estator;
- R2: Resistência do circuito do rotor;
- X2: Reatância do circuito do rotor;
- RM: Resistência do ramo magnetizante;
- XM: Reatância de magnetização;

Dentre as diversas metodologias existentes para a obtenção de parâmetros do circuito equivalente de motores de indução trifásicos, optou-se por descrever a apresentada em (Sá, 1988), por ser bastante intuitiva.

Nesta metodologia, parte-se do princípio que os seguintes dados de catálogo são disponíveis:

- Potência nominal [kW] (mecânica): P_N ;
- Tensão Nominal [V]: U_N ;
- Rotação Nominal [rpm]: n_N ;
- Rotação Síncrona [rpm]: n_S ;
- Conjugado máximo em relação ao nominal: M_k ;
- Conjugado de partida em relação ao nominal: M_P ;
- Rendimento com carga a 100%: η_{100} ;
- Rendimento com carga a 75%: η_{75} ;
- Fator de potência a 100% de carga: FP_{100} ;
- Fator de potência a 75% de carga: FP_{75} ;

A corrente do estator, em qualquer condição de carga pode ser expressa por:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot FP \cdot \eta} \quad (2.9)$$

Com os dados relativos a condição de 100% e 75% de carga, pode-se obter as seguintes relações:

$$I_{100} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot FP_{100} \cdot \eta_{100}} \quad (3.0)$$

$$I_{75} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot FP_{75} \cdot \eta_{75}} \quad (3.1)$$

Estes valores serão utilizados para a avaliação dos parâmetros.

As perdas no motor incluem as perdas por efeito Joule nos enrolamentos do estator e rotor, perdas no ferro, atrito, ventilação e dispersão. Uma aproximação inicial destas perdas pode ser feita como segue:

$$\sum P_e = \frac{1-\eta}{\eta} \cdot P = 3 \cdot I^2 \cdot R_T + K \quad (3.2)$$

com

$$R_T = R_1 + R_2 \quad (3.3)$$

Onde:

ΣP_e : Somatório das perdas

η : Rendimento;

P: Potência mecânica;

I: Corrente elétrica;

R_T : Resistência total;

K: Somatório das perdas no ferro, atrito, ventilação e dispersão;

Esta equação pode ser reescrita para os pontos de 100% e 75% de carga:

$$3 \cdot I_{100}^2 \cdot R_T + K = \frac{1-\eta_{100}}{\eta_{100}} \cdot P \quad (3.4)$$

$$3 \cdot I_{75}^2 \cdot R_T + K = \frac{1-\eta_{75}}{\eta_{75}} \cdot 0,75 \cdot P \quad (3.5)$$

De onde os valores de R_T e K podem ser calculados.

Será considerado que as perdas no ferro correspondem a 50% das perdas constantes. Assim, a resistência do ramo magnetizante (R_M) e a componente ativa da corrente em vazio (I_{OP}), responsáveis por estas perdas, podem ser calculadas da seguinte maneira:

$$\frac{3 \cdot U_f^2}{R_M} = 3 \cdot I_{op}^2 \cdot R_M = 0,5 \cdot K \quad (3.6)$$

Onde U_f é a tensão aplicada em cada fase do motor.

Observando o diagrama fasorial da figura 2.5, a componente reativa da corrente em vazio (I_{oq}) e o fator B podem ser calculados através das seguintes equações para as condições de 75 e 100% de carga:

$$B + I_{oq} = I_{100} \cdot \sqrt{1 - FP_{100}^2} \quad (3.7)$$

e

$$0,75 \cdot B + I_{oq} = I_{75} \cdot \sqrt{1 - FP_{75}^2} \quad (3.8)$$

com $B = I_2 \cdot \text{sen} \varphi_2$

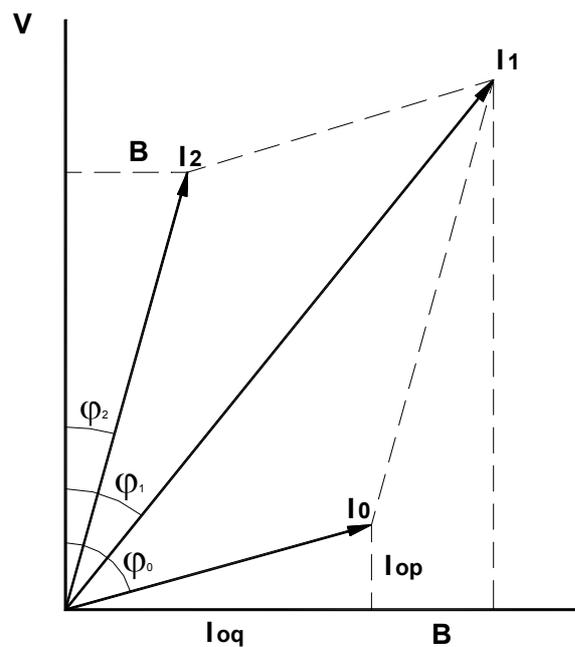


Figura 2.5 – Diagrama fasorial das correntes do motor (Bortoni, 1992)

Obtendo-se o valor de I_{oq} , a resistência de magnetização pode ser calculada assim:

$$X_M = \frac{U_f}{I_{oq}} \quad (3.9)$$

A corrente que flui pelo rotor pode ser calculada a partir das suas componentes ativa e reativa, como mostram as seguintes relações:

$$I_{2p} = I_{1p} - I_{0p} \quad (3.10)$$

$$I_{2q} = I_{1q} - I_{0q} \quad (3.11)$$

e

$$I_2 = \sqrt{I_{2p}^2 + I_{2q}^2} \quad (3.12)$$

A resistência R_2 pode ser calculada a partir do circuito equivalente para as condições nominais, uma vez que a potência dissipada na resistência $R_2 = \frac{1-s_N}{s_N}$ corresponde a potência entregue pelo motor a carga. Sendo assim, tem-se:

$$R_2 = \frac{P_N}{3 \cdot I_2^2} \cdot \frac{s_N}{1-s_N} \quad (3.13)$$

Onde s é o escorregamento com carga nominal, dado por:

$$s = \frac{n_s - n_N}{n_s}$$

Pela equação 3.3, a resistência do estator pode ser calculada por:

$$R_1 = R_T - R_2 \quad (3.14)$$

Os valores das reatâncias de dispersão do estator (X_1) e do rotor (X_2) dependem do tipo de projeto definidos pela norma NEMA. Estes parâmetros são relacionados com a característica de torque que o motor irá apresentar, e podem ser avaliados a partir das relações de conjugado oferecidas pelos fabricantes em suas listas técnicas. A expressão do torque pode ser escrita como:

$$M = \frac{K_1 \cdot s \cdot E_2 \cdot R_2}{R_2 + (s \cdot X_2)^2} \quad (3.15)$$

Onde K_1 é uma constante relacionada ao fluxo no entre-ferro e rotação. A condição para o torque máximo pode ser obtida derivando-se a equação 3.15 em função do escorregamento s e igualando-a a zero.

$$\frac{\delta M}{\delta s} = K_1 \cdot E_2 \cdot R_2 \frac{[R_2^2 + (s \cdot X_2)]^2 - 2s^2 \cdot X_2}{R_2^2 + (s \cdot X_2)^2} = 0$$

$$R_2 = s \cdot X_2$$
(3.16)

O conjugado máximo correspondente é dado por:

$$M_K = \frac{K_1 \cdot E_2}{2 \cdot X_2}$$
(3.17)

e a expressão de partida:

$$M_P = \frac{K_1 \cdot E_2 \cdot R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$
(3.18)

seja

$$a = \frac{R_2}{X_2}$$
(3.19)

Assim, a relação M_P/M_K será:

$$\frac{M_P}{M_K} = \frac{2 \cdot a}{a^2 + 1}$$
(3.20)

Resolvendo para a , tem-se:

$$a = \frac{1 - [1 - (M_P / M_K)^2]^{1/2}}{M_P / M_K}$$
(3.21)

Assim, a reatância do rotor será:

$$X_2 = \frac{R_2}{a}$$
(3.22)

E a reatância do estator será:

$$X_1 = Y.X_2 \quad (3.23)$$

Pela norma NEMA, os valores de Y são os que se seguem, em função da categoria a que o motor pertence.

Tabela 2.1: Valores de Y por categorias de motores (Bortoni, 1992)

Categoria	Y
A	1
B	1,5
C	2,33
D	1

Uma vez obtidos todos os parâmetros do circuito equivalente, pode-se obter as condições de operação do motor.

2.4 Algumas considerações sobre os métodos

Tanto nos métodos normalizados como nos métodos expeditos, algumas discrepâncias podem ocorrer entre os resultados quando aplicados a um mesmo motor (PROCEL, 2001).

Nos métodos similares de normas diferentes, as principais diferenças se encontram na correção da resistência em função da temperatura e na avaliação das perdas suplementares.

No caso dos métodos normalizados, dentro de uma mesma norma, os valores obtidos pelo método direto e indireto são de difícil comparação entre si, pois partem de hipóteses diferentes, e a própria escolha dos diversos métodos depende de fatores como equipamentos laboratoriais disponíveis, custo do ensaio, precisão exigida, potências envolvidas e outros fatores (ELETROBRAS, 2000).

Na aplicação das metodologias expeditas, devido a seu maior grau de facilidade, não se está interessado na determinação precisa do rendimento de trabalho da máquina, mas sim do carregamento, para que se possa avaliar o possível sobredimensionamento da máquina (PROCEL, 2001).

Assim, em termos de conservação de energia, a escolha de um método deve ser feita de acordo com as características que se pretende avaliar, levando em consideração a norma utilizada, as ferramentas disponíveis, e outros assuntos pertinentes como, por exemplo, custos envolvidos. Desta forma, quando se pretende determinar apenas o carregamento de um motor, os métodos expeditos são de maior aplicação, pois utilizam-se de medidas como corrente, rotação, dados de placa e catálogos de fabricantes, e em alguns casos podem requerer uma medida da potência absorvida da rede, sendo principalmente de maior aplicabilidade em campo.

Capítulo 3

3. Programas de Eficientização de Sistemas Motrizes

3.1 Introdução

O presente capítulo apresentará o Panorama Mundial e o Panorama Nacional nas ações voltadas à eficiência energética em motores. Serão ilustradas a experiência internacional voltada à utilização eficiente de energia, bem como a Política Nacional de Conservação de Energia e o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

3.2 Panorama Mundial

3.2.1 Estados Unidos (Nadel et al, 1997)

O consumo americano de energia, em sua maioria, se dá a um grande número de motores instalados. Existem por exemplo, mais de 25 milhões de motores CA com potência igual ou superior a 1 HP, chamados de *Integral horsepower*.

O consumo industrial é o maior, seguido pelos setores comercial e residencial, como se pode observar na figura 3.1.

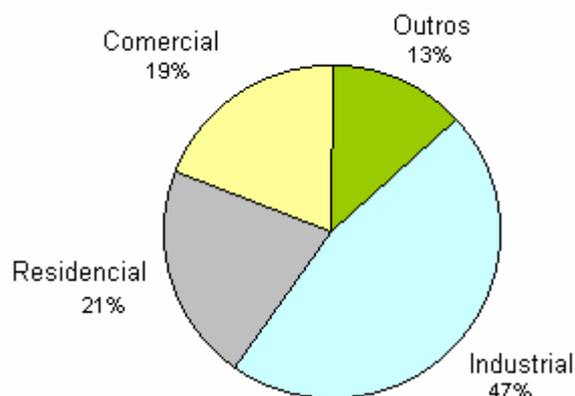


Figura 3.1 – Consumo americano por setor (Nadel et al, 1997)

O setor residencial apresenta, por exemplo, domínio de pequenos motores, utilizados em algumas aplicações. Para o setor comercial encontram-se motores em condicionadores de ar, bombas, ventiladores e compressores.

Um estudo realizado pela ACEEE - *American Council for and Energy-Efficient Economy*, mostrou que entre 14 e 38% do total de consumo de energia elétrica americano podem ser economizados, com a substituição de equipamentos por outros de maior eficiência energética, quando os mesmos falharem, modernizando processos e instalações.

a) Histórico dos programas

No final dos anos 70, o governo americano verificou a importância da existência de um programa de eficiência energética para motores, e realizou um estudo para verificar o número de motores instalados no país. Este estudo foi conduzido por Arthur D. Little (ADL, 1980) focando principalmente a alta eficiência em motores. Buscava-se saber o tamanho da população de motores, o quanto de energia era consumido por diferentes tipos e tamanhos de motores bem como a energia gasta no uso final de energia, principalmente bombas.

O estudo consideraria inicialmente motores de eficiência padrão, rejeitando a princípio a entrada de motores de alta eficiência, política adotada na época.

b) Etiquetagem de motores

Ainda no final dos anos 70 a NEMA - *National Electrical Manufacturers Association*, estabeleceu um programa de etiquetagem para os tipos mais comuns de motores, de 1 a 125 HP. Antes do programa, a eficiência nominal¹ de um motor e a eficiência mínima² eram anotadas na placa de identificação da máquina. A estratégia do programa de etiquetagem era promover um padrão de medida da performance de um motor para comparação de motores de diferentes fabricantes.

Um ponto fraco do programa foram as poucas compras baseadas na placa de identificação do motor, pois a maioria delas eram feitas com base nos catálogos de fabricantes. Para solucionar este problema, em 1997, uma lei exigiu uma listagem da eficiência nominal dos motores em catálogos.

c) Alguns programas

Os programas que tratam da eficiência de motores nos Estados Unidos têm foco principal no setor industrial, principalmente pelo consumo de energia do setor. Os programas de motores representam também uma fácil estratégia para melhorar a eficiência do setor.

Inicialmente, a estratégia dos programas era focar motores eficientes. Estes motores pertenciam a uma nova classe de produtos introduzida no mercado no final da década de 70, com significativo aumento da eficiência dos produtos. Os motores de alta eficiência alcançavam a eficiência máxima com dois terços ou três quartos de carga, em contraste com os motores padrão, que alcançavam a eficiência máxima aproximadamente com a carga máxima. Este fato tornou-se importante pois estudos mostravam que a maioria dos motores de baixa potência trabalhavam aproximadamente com 60% de carregamento.

¹ Eficiência nominal é a média das eficiências de uma amostra de motores de um mesmo projeto.

² A eficiência mínima representa aproximadamente 5% do valor desta amostra

Nos anos 80, políticas de incentivo a compra de motores de alta eficiência foram adotadas. Inicialmente optando pela substituição de motores padrão por motores de alta eficiência. Esta estratégia não se tornou economicamente viável, pois era difícil justificar a troca de motores padrão por outros de alta eficiência em função de seu elevado preço. Atualmente, muitos programas são utilizados para influenciar o processo de seleção na compra de novos motores e nas decisões de reparo ou substituição de motores com defeitos.

Um dos programas de maior sucesso foi o *B.C Hydro Power Smart*. Este programa combina as informações do cliente e do vendedor para obtenção de descontos para a compra de motores eficientes.

Em meados dos anos 80, alguns programas adotaram o uso de dispositivos eletrônicos de ajuste de velocidade (ASD). Esta tecnologia permitia o ajuste da velocidade do motor de acordo com o processo, tornando-se particularmente atrativa em processos onde a energia consumida varia com o cubo da velocidade, com elevado potencial de economia de energia. Estes programas permitiam subsídios do governo para obtenção de ASD's.

A vantagem era que os descontos oferecidos poderiam ser administrados e repassados a outras necessidades. A grande desvantagem era o fato de que os mesmos incentivam a instalação de ASD em instalações impróprias. Os sistemas ASD representam atualmente uma importante opção na otimização de projetos de sistemas de motores.

d) Padrões adotados

O padrão adotado de eficiência mínima para motores nos Estados Unidos está na tabela 3.1. A norma NEMA para motores de 1 HP em diante é a base para a padronização dos motores. A mesma está em vigor desde outubro de 1997 e os fabricantes e importadores não podem ignorar estes níveis.

Tabela 3.1 – Eficiência mínima para motores elétricos padrão nos Estados Unidos (Nadel et al, 1997)

Potência do Motor		Eficiência Nominal com carga máxima					
		Motores abertos			Motores fechados		
		Nº de pólos					
HP	kW	6	4	2	6	4	2
1,0	0,7	80,0	82,5	-	80,0	82,5	75,5
1,5	1,1	84,0	84,0	82,5	85,5	84,0	82,5
2,0	1,5	85,5	84,0	86,5	86,5	84,0	84,0
3,0	2,2	86,5	86,5	84,0	87,5	87,5	85,5
5,0	3,7	87,5	87,5	86,5	87,5	87,5	87,5
7,5	5,6	88,5	88,5	87,5	89,5	89,5	88,5
10,0	7,5	90,2	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5
15,0	11,2	90,2	91,0	89,5	90,2	91,0	90,2
20,0	14,9	91,0	91,0	90,2	90,2	91,0	90,2
25,0	18,7	91,7	91,7	91,0	91,7	92,4	91,0
30,0	22,4	92,4	92,4	91,0	91,7	92,4	91,0
40,0	29,8	93,0	93,0	91,7	93,0	93,0	91,7
50,0	37,3	93,0	93,0	92,4	93,0	93,0	92,4
60,0	44,8	93,6	93,6	93,0	93,6	93,6	93,0
75,0	56,0	93,6	94,1	93,0	93,6	94,1	93,0
100,0	74,6	94,1	94,1	93,0	94,1	94,5	93,6
125,0	93,3	94,1	94,5	93,6	94,1	94,5	94,5
150,0	111,9	94,5	95,0	93,6	95,0	95,0	94,5
200,0	149,2	94,5	95,0	94,5	95,0	95,0	95,0

Após 1980, o governo americano concentrou esforços em um avançado projeto para sistemas de motores. O departamento de Energia Americano desenvolveu um programa para motores eficientes, o “Motor Challenge”, com foco na educação e assistência técnica para usuários finais. Os usuários inicialmente abordados foram os industriais. Este programa foi estendido também para outros setores e também para todos os sistemas de motores.

O programa recrutou usuários finais, fabricantes e outros envolvidos com o mercado de motores, que são voluntários do programa. Estes parceiros são convidados a empreender em sistemas de motores eficientes existentes ou desenvolver novas práticas.

Há um número cada vez maior de programas nos Estados Unidos. Progressos cada vez maiores estão sendo alcançados, com conhecimento cada vez maior sobre

novos sistemas com motores e em novas tecnologias, desenvolvimento de técnicas de reparo, novos equipamentos e projetos de sistemas.

Uma vez estabelecido o nível mínimo de eficiência, o governo americano junto com o governo do Canadá, procura fornecer incentivos a motores de alta eficiência, como treinamentos, seleção e aplicação de motores eficientes. Existe potencial para uma maior eficiência numa nova classe de motores denominada de eficiência prêmio. Um novo nível de eficiência foi criado para estes motores pelo CEE - Consortium for Energy Efficiency.

e) Reparos

Cada reparo de motor se transforma em uma oportunidade para a instalação de motores mais eficientes. Um reparo realizado de forma inadequada pode ocasionar gastos desnecessários com energia. É compreensível também o fato de que o mercado tem dificuldades para desenvolver estratégias de reparo de motores adequadas. A carência de conhecimentos e a complexidade do setor atrasam a introdução de programas que poderiam solucionar estes aspectos.

Uma pesquisa, feita pelo BPA - *Bonneville Power Administration*, estimou que mais de 2 milhões de motores maiores que 1 HP CA já foram reparados nos Estados Unidos. Estes motores são reparados tipicamente 3 a 5 vezes antes de serem descartados. Quando um reparo é realizado de maneira apropriada, a eficiência nominal tende a ser mantida, porém, reparos impróprios resultam em uma perda de 5% ou mais na eficiência. Estes dados mostram que a qualidade do reparo influi na eficiência do motor, e podem causar perdas importantes para o setor.

O EASA - *Electrical Apparatus Service Association*, uma associação de reparos da indústria norte americana, estabeleceu um padrão de qualidade para reparos, EASA-Q. O mesmo é um padrão, assim como o ISO 9000. Porém, devido a seu rigor, poucas empresas de reparo conseguem obter certificação.

Os programas EASA e o Motor Challenge têm desenvolvido materiais educacionais para clientes, no reparo de qualidade. Muitos aplicativos também estão sendo desenvolvidos para programas de reparo.

f) Gerenciamento de Motores

O BPA desenvolveu um programa para gerenciamento de motores denominado *Motor Master*, baseado em um banco de dados de motores disponíveis, concedido aos clientes para comparação dos motores existentes com outros similares, determinando economia e seleção de modelos mais eficientes. Esta ferramenta foi atualizada, recebendo algumas modificações, passando a ser conhecido como *Motor Master+*, que incluiu um inventário de motores e funções de gerenciamento que permitem um planejamento para decisões de reparo ou substituição de motores, ou programas de manutenção (Nadel et al, 2002).

g) Acionamentos de Motores

Muitos motores são utilizados no acionamento de cargas como ventiladores, bombas e compressores. Grupos de usuários finais, distribuidores de energia e o *Motor Challenge*, são consultados em trabalhos com fabricantes de equipamentos para acionamento com motores, na tentativa de promover um caminho de testes e relatórios da eficiência destes equipamentos, e também, o desenvolvimento de equipamentos mais eficientes.

O AMCA - *International Air Movement and Control Association* (para ventiladores), o HI - *Hydraulic Institute* (para bombas) e o CAGI - *Compressed Air Gas Institute* (para compressores de ar e componentes relacionados), trabalharam juntos na organização de materiais educacionais e guias para aquisição de equipamentos mais eficientes. Entretanto, muitos equipamentos selecionados e sistemas foram desenvolvidos por fabricantes independentes. Existem programas comerciais para dimensionamento de bombas e sistemas de ventiladores, com bancos de dados para especificação de equipamentos. Um exemplo: o Air Master auxilia na análise de sistemas de ar comprimido, possibilitando mudanças no compressor, operações e estratégias de controle. A versão inicial possuía ainda um

banco de dados limitado a alguns fabricantes, seus autores esperam que outros fabricantes possam disponibilizar seus equipamentos para serem incluídos nesta base de dados.

Um novo grupo, o *Energy-Efficient Procurement Collaborative and Product Network*, coloca a disposição dos membros, facilidades e acessibilidade a informações sobre eficiência energética e adequação ambiental de equipamentos que podem ser incorporados em suas compras (Nadel et al, 2002).

3.2.2 Austrália e Nova Zelândia (Cogan, 1997)

a) Política Econômica

Acionamentos com motores consomem entre 25 a 30% da energia utilizada na Austrália e Nova Zelândia. Estima-se que o potencial econômico seja da ordem de 18% ou mais, representando de 5 a 6% do total utilizado e conseqüentemente um alvo de valor para aplicação eficiente de energia.

A busca da energia eficiente na Austrália é promovida pela *National Greenhouse*, responsável estrategicamente pelos problemas locais e considerações adicionais. Na Nova Zelândia, os dispositivos que trabalham com alta eficiência são largamente motivados por um potencial de crescimento econômico dos negócios e na redução da emissão de gases. Para se evitar a poluição, busca-se conservação e energia segura. Portanto, a economia de energia pode gerar melhorias ambientais e benefícios econômicos.

Através da instituição *Trans-Tasman Mutual Recognition Arrangement* os dois países buscam um aumento na cooperação na busca de energia eficiente. O gerenciamento de energia é feito pelo *Task Force* composto por membros dos dois países, ligado ao ANZMEC, *Australian and New Zealand Minerals and Energy Council*.

b) O Mercado de Motores Elétricos

Os dois países possuem apenas um grande fabricante de motores. Os mesmos importam de vários lugares, como mostra a tabela 3.2.

O número total de aquisição de motores com potência maior que 0,75kW está em torno de 100.000 unidades por ano na Austrália e 16.500 por ano na Nova Zelândia. O total de motores estocados e em operação está estimado em 1.500.000 unidades na Austrália e 250.000 na Nova Zelândia.

Tabela 3.2 – Compra de motores elétricos: Austrália e Nova Zelândia (Cogan, 1997)

Austrália		Nova Zelândia	
Economia de origem	Parte no Mercado (%)	Economia de origem	Parte no Mercado (%)
Taiwan	30	Brasil	33*
Scandinavia	17	Taiwan	26
Japão	11	China	12
Austrália	10	Reino Unido	8
Brasil	8*	Scandinavia	3
Reino Unido	8	Varios	18
Europa	5	* A parte de mercado para o Brasil representa mais de um fabricante	
Estados Unidos	3		
Varios	8		

Em contraste à falta de fabricantes, a Nova Zelândia possui uma próspera indústria de dispositivos de velocidade variável desenvolvida com alta tecnologia e de alta qualidade. Grande parte de sua produção é exportada. O número de motores de alta eficiência utilizados nos dois países também é significativo.

c) O uso da Energia

Na Austrália estima-se que acionamentos com motores consomem 75% da energia comprada por empresas de alumínio e metais. No setor comercial, estima-se que 50% do consumo de energia é utilizada por motores. O uso final de energia elétrica por acionamentos com motores está estimado em 38.000 GWh por ano.

Para a Nova Zelândia tem-se 55% do uso de energia no setor industrial, 40% no setor agrícola e 17,5% no setor comercial, com um total estimado de 7500 GWh por ano.

A diferença entre os dois países se dá pelo fato de que a indústria da Nova Zelândia consome o alumínio fundido da Austrália e pela grande proporção de prédios comerciais australianos que utilizam ar condicionado.

O uso com motores de alta eficiência pode reduzir, teoricamente, as perdas em aproximadamente 750 GWh na Austrália e 100 GWh na Nova Zelândia. Este é um potencial elevado, porém difícil de ser colocado em prática. A introdução de motores de alta eficiência poderia levar de 15 a 20 anos para se tornar atrativa para o país.

Um bom potencial de economia seria também a otimização dos processos de carga, a correta seleção de motores, melhorias nas instalações, manutenção e utilização correta dos dispositivos de controle, incluindo em muitos casos uso de dispositivos de velocidade variável. O potencial de economia médio para acionamentos com motores é de 20%, ou seja, 1.500 GWh por ano na Nova Zelândia e 7.500 para a Austrália. Este potencial, embora seja elevado, requer um estudo caso a caso, com profissionais especializados. Este pode ser um trabalho relativamente lento, e que necessita de capital para ser realizado.

d) Programas Específicos

- Programa de Motores SECV: Este programa é utilizado para motores de alta eficiência e dispositivos eletrônicos de ajuste de velocidade, sendo motores trifásicos de 1,1 a 355 kW. O mesmo é composto por livretos educacionais, seminários e um programa computacional para quantificar o potencial econômico, com a utilização de motores de alta eficiência. Em adição, descontos para a compra de equipamentos eficientes também é incentivada.
- Corporação Elétrica da Nova Zelândia – ECNZ - *Motor Selector*: É um programa com procedimentos para avaliar a compra de motores. Seu objetivo é avaliar a identificação de motores mais econômicos para cada aplicação.
- Performance Padrão para Eficiência Mínima – MEPS: Os dois países estão investigando a introdução de um padrão de eficiência mínima, conhecido como MEPS, para motores de indução trifásicos. Um estudo de 1994 investigou a viabilidade para a introdução do MEPS na Nova Zelândia, para um grupo de

produtos, incluindo motores trifásicos. O estudo mostrou que um baixo nível de MEPS poderia eliminar as perdas em 20% dos motores, com pequeno custo para os consumidores. Um nível mais elevado de MEPS poderia ser economicamente mais vantajoso, de maneira global, porém não muito atrativo quando analisado individualmente. Para continuar esta investigação, algumas incertezas precisam ser eliminadas. Sendo assim alguns assuntos específicos como os citados abaixo devem ser debatidos:

- Eficiência atual dos motores e custos;
 - Número preciso de motores, para cada tipo, tamanho e velocidade vendidos;
 - Potencial econômico esperado;
 - Uma estimativa dos custos esperados;
 - Quais os novos testes a serem feitos.
-
- MEPS na Austrália: Uma série de estudos de MEPS para motores foi realizada na Austrália desde 1994. Foi demonstrado um bom potencial econômico, fazendo o termo MEPS uma medida bem aceita.
 - *SOFTWARE EECA MOTOR DRIVES*: Este é um programa que busca a eficiência máxima de processos que envolvem equipamentos acionados por motores. Esta atividade inclui empreendimentos em estudos e demonstrações, realização de seminários, publicações e visitas pessoais. Um estudo realizado em 1995 mostrou que o setor apresentava um bom potencial, mas para que mesmo fosse alcançado era necessário atentar ao fato de que todos os componentes do processo deveriam ser envolvidos. Este estudo é similar ao *Motor Challenge* dos Estados Unidos, e após um congresso envolvendo as partes interessadas, desenvolveu-se um guia que envolvia aspectos de processos, ferramentas de projeto, medidas e outras avaliações relevantes.
 - *Motor Monitor*: Quando o MEPS foi introduzido, era necessário realizar testes ao acaso com motores. Esta era uma tarefa cara de ser realizada. O programa *Motor Monitor* foi um instrumento desenvolvido pela ECNZ que possibilitou a realização de testes de eficiência em motores e a medição de outros parâmetros, no campo, enquanto o motor estava com carga. Estas informações podem garantir

tanto a performance do motor quanto as características da carga. Quando os testes eram realizados para a condição *non-standard* este instrumento gerava indicações se o motor estava ou não nos níveis MEPS.

A cooperação entre os dois países em matéria de energia eficiente é de grande valor, e torna-se um benefício claro. A implantação de MEPS pode ser feita facilmente em outros países. No caso da Austrália e Nova Zelândia, para que os resultados dos testes de MEPS tenham confiabilidade, os dois países participam da *Asia Pacific Laboratories Accreditation Co-operation* – APLAC. Os níveis de MEPS podem ser divididos em classes. O mais restrito é apropriado apenas para países que possuem ambientes com altos custos de energia. O menos restrito é apropriado para a maioria dos países, enquanto o de nível mais baixo pode ser utilizado apenas para eliminar os motores com maiores perdas, sendo apropriado por exemplo para países que os usam como padrão inicial. A classe mais baixa de todas, aquela abaixo dos níveis mínimos, podem ser utilizadas para motores especiais, onde a eficiência pode ser sacrificada por outras propriedades como confiabilidade e condições de segurança.

3.2.3 França (David et al, 1997)

Desde 1993, o serviço público francês *Electricite de France* -EDF e a Agência de gerenciamento de Energia e Meio Ambiente - ADEME têm trabalhado juntos para promover o uso eficiente de energia. Para o setor industrial isso ocorre através de consultorias ao setor, com foco nos dispositivos de controle de velocidade para motores, que se destacam como um grande alvo no combate ao desperdício, especialmente nas bombas e ventiladores. A figura 3.2 faz uma distribuição de 10 TWh para os setores da indústria francesa, e seus potenciais econômicos até 2010.

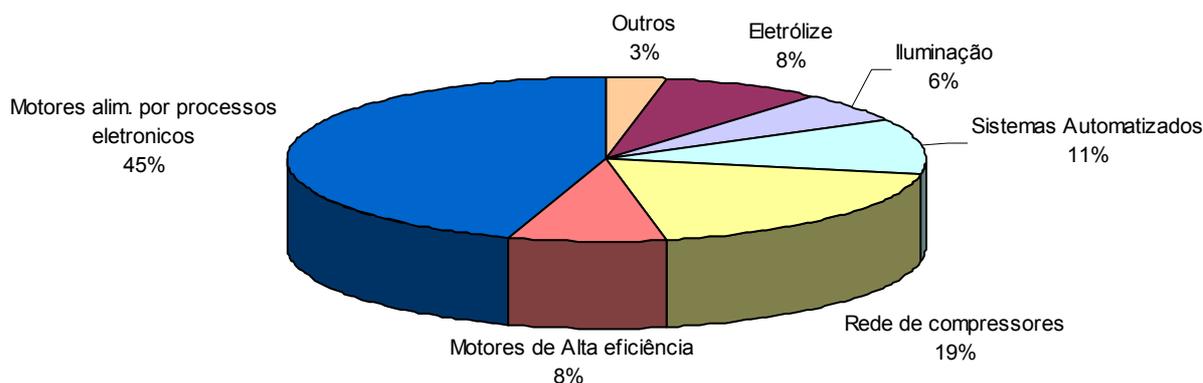


Figura 3.2 – Potencial de economia nos setores da indústria francesa (David et al, 1997)

As indústrias juntamente com a ADEME e a EDF buscaram as necessidades do setor, identificando soluções na área de eficiência energética. Muitos estudos têm sido desenvolvidos, para ventiladores, bombas e compressores, que se destacam como grandes consumidores. Um estudo baseado em 135.000 motores de 180 empresas revelou alguns fatos:

1. Bombas, ventiladores e compressores representam 63% do consumo de energia;
2. Mais de 50% destes equipamentos podem utilizar técnicas de variação de carga e não utilizam dispositivos eletrônicos;
3. Apenas cerca de 4% das bombas e ventiladores já usam algum dispositivo eletrônico;
4. Poucos compressores usam algum tipo de dispositivo eletrônico.

O estudo também mostrou que:

1. Motores com potência abaixo de 10 kW não representam um consumo elevado, não sendo alvo de interesse;
2. Dispositivos com potência superior a 500 kW geralmente possuem sistemas especializados, que envolvem alta tecnologia;

3. Dispositivos com potência entre 10 e 500 kW são consideravelmente interessantes para o estudo, onde se encontra a maior parte das bombas, ventiladores e compressores.

Uma pesquisa realizada em 1994 descobriu junto a usuários industriais (80 plantas industriais) o nível de satisfação dos mesmos na utilização de dispositivos para motores de indução e suas reais necessidades, em termos de performance, flexibilidade e manutenção.

O resultado obtido esta na figura que segue:

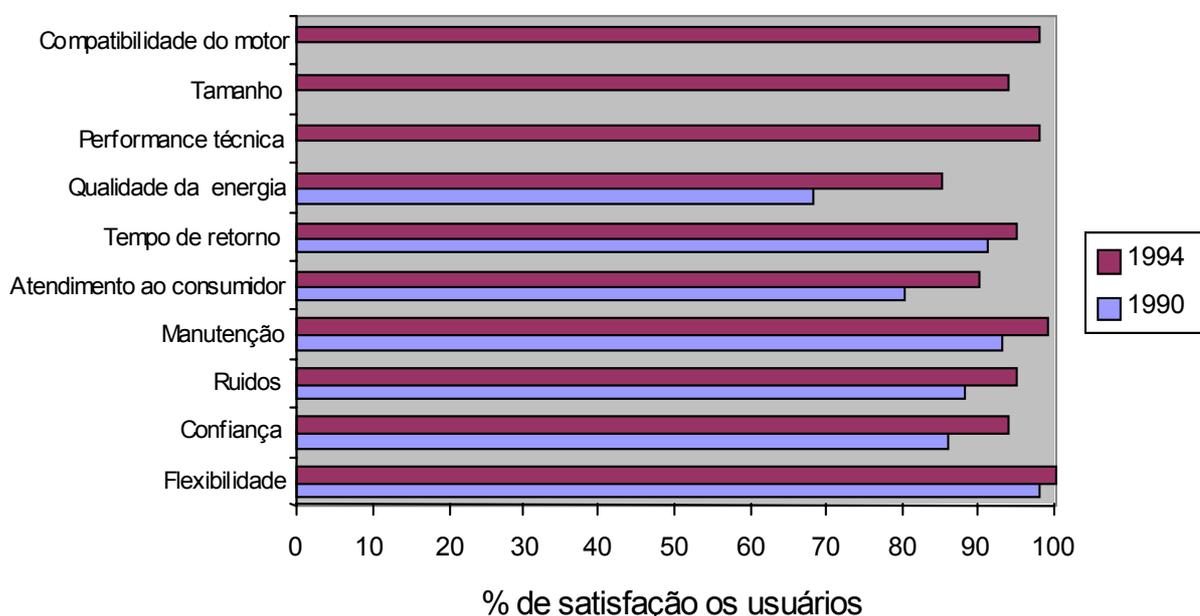


Figura 3.3 – Nível de satisfação dos usuários de dispositivos eletrônicos nas indústrias (David et al, 1997)

a) Pontos Técnicos

A figura 3.4 traz a comparação feita para o controle de um ventilador (exaustor) de forma fixa e um controle com dispositivo de velocidade variável, que permite um controle exato da velocidade, de acordo com a necessidade. O procedimento completo pode ser encontrado no *Energy diagnosis guide* desenvolvido pela EDF e ADEME.

A economia de energia neste caso pode chegar de 15 a 30%. Estudos mostram que na verdade este valor pode ser próximo de 50% em alguns casos particulares. Nos gráficos podem ser observados o consumo de energia pelo fluxo.

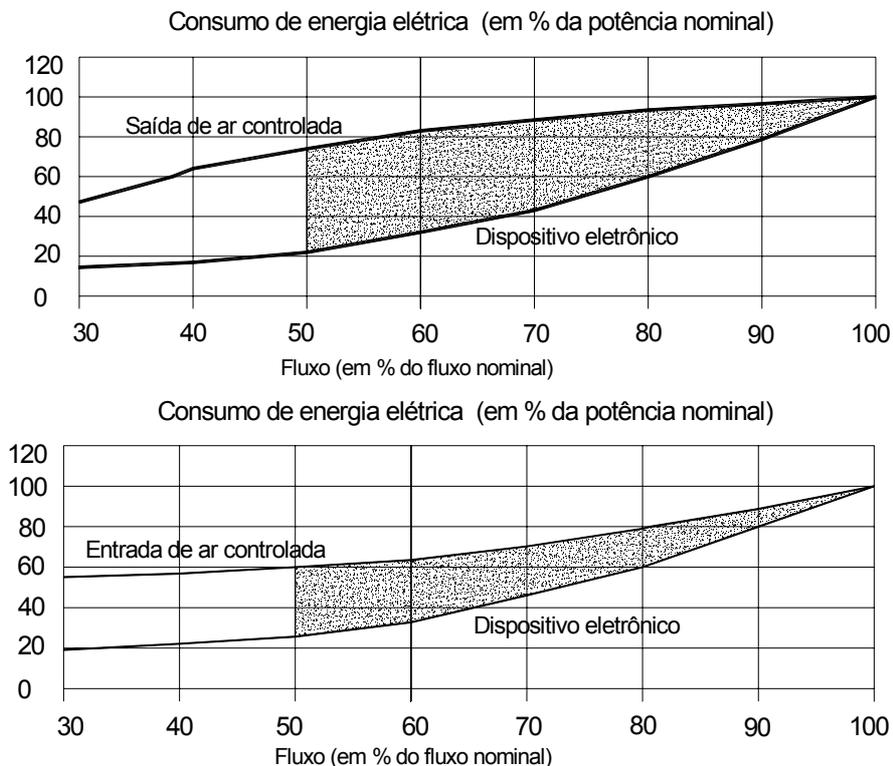
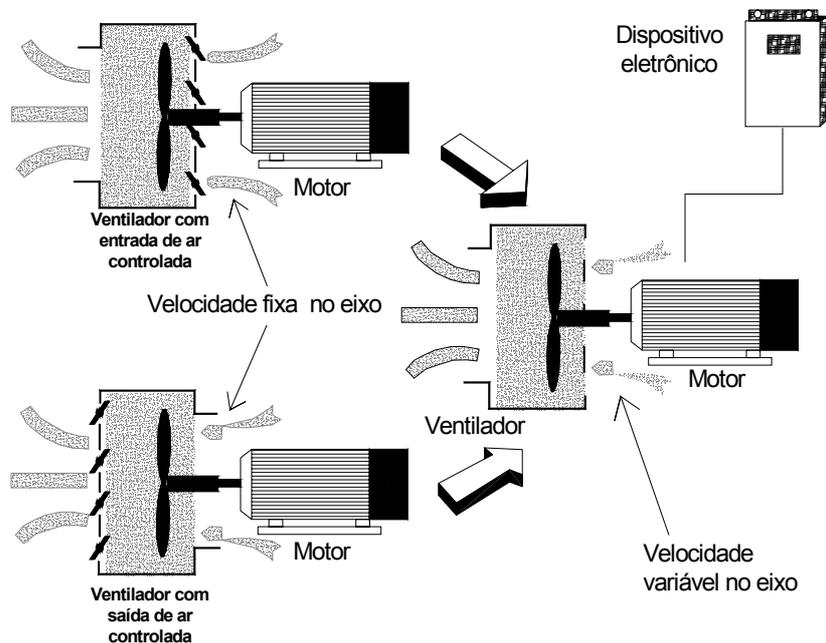


Figura 3.4 - Comparação entre o consumo de energia versus fluxo, para uma saída de ar controlada e uma entrada de ar controlada (David et al, 1997)

Analisando-se o custo da energia, o custo do equipamento e as horas trabalhadas do mesmo, pode-se obter o retorno do investimento.

b) Abordagem Comercial

Um dos objetivos da ADEME e da EDF é oferecer aos usuários industriais a oportunidade de entender claramente o potencial de energia que pode ser economizado em suas instalações, gerenciando a demanda de energia elétrica, que pode ser feita em 4 estágios:

1. Análise da planta do cliente, verificando seu potencial global, definindo um diagnóstico de energia específico em seus motores;
2. Medições na planta industrial para se obter um estudo de viabilidade para os dispositivos selecionados;
3. Instalar os dispositivos necessários, de acordo com a decisão do usuário;
4. Obter o retorno, medindo o consumo de energia, verificando a economia obtida e se está de acordo com o desejo do cliente.

Este serviço, o *DSM Program*, é uma parceria entre a ADEME e a EDF. A ADEME realiza o serviço através de suas delegacias regionais e a EDF através de sua divisão comercial.

Os diagnósticos energéticos e os estudos de viabilidade técnica são realizados por empresas de engenharia que possuem especialistas e pessoas devidamente treinadas. Os investimentos em dispositivos e treinamentos são de responsabilidade do cliente, que pode consultar diretamente os fabricantes. Duas ferramentas principais são utilizadas pelo *DSM Program*, o *Industrial Motors Energy Consumption Diagnosis Guide* e o *Drive Users Guide*. Outras ferramentas também podem ser utilizadas como referências de fabricantes.

3.2.4 Itália (Russo, 1997)

O programa italiano, denominado *Progetto Finalizzato Energetica I*, iniciado em 1980, teve patrocínio do CNR, Conselho de Pesquisa Nacional, e desde seu início o ENEL R&D, departamento de energia italiano, têm se aplicado ao estudo e atividades para a efficientização energética em motores e dispositivos.

Em 1980, o ENEL e a ANIE, Associação Nacional da Indústria Eletroeletrônica Italiana, trabalham juntas em um estudo sobre população de motores, que rendeu a publicação de artigos no primeiro ano de trabalho. Em sua segunda edição, o *Progetto Finalizzato Energetica II*, foi focado em um novo alvo, baseado em motores de alta eficiência. De 1990 a 1995, o ENEL conduziu um estudo entre a população italiana de motores elétricos na indústria e no setor terciário. Após este estudo, obteve-se uma perspectiva do total instalado, entre 0,75 e 22 kW, sendo apontados como grande potencial de economia de energia.

a) Melhorias sugeridas e fatores de decisão

O ponto mais alto apresentado do estudo de 1995 foi a correlação entre questões técnicas (motores de alta eficiência, melhorias no rebobinamento, otimização do carregamento, dispositivos de velocidade variável, melhorias na transmissão mecânica) afetados por ações estratégicas e fatores de decisão (usuários finais, fabricantes de motores, fabricantes de equipamentos), os quais qualquer programa deve conter. O resumo dos fatores de decisão são apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Fatores de decisão e questões técnicas: ações implementadas para motores na Itália (Russo, 1997)

Questões Técnicas	Fatores decisivos				
	Corpo Padrão	Usuario final	Fabricantes de motores	Fabricantes de equipamentos	Rebobinagem
Motores de alta eficiência	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	
Melhorias na rebobinagem		<input type="radio"/>			<input type="checkbox"/>
Otimização do dimensionamento		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
Dispositivos de velocidade variável		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
Melhorias na transmissão mecânica		<input type="radio"/>		<input type="checkbox"/>	

Objeto responsável pela possibilidade de implementação

Objeto envolvido na escolha

As questões técnicas são influenciadas pelos fatores decisivos da seguinte forma:

- i. Motores de alta eficiência: A viabilidade de sua ação depende dos Fabricantes. A União Européia pode ser um fator decisivo no processo de etiquetagem;
- ii. Melhorias no Rebobinamento: é um fator relevante e sua melhoria pode ser feita através de pessoal qualificado, com programas educacionais próprios;
- iii. Otimização do dimensionamento: A viabilização depende dos fabricantes. O mesmo pode ser feito atentando para a diminuição das perdas em motores, diminuindo custos extras em motores de alta eficiência;
- iv. Introdução de dispositivos de velocidade variável: Este fator também depende dos fabricantes do equipamento. O custo do equipamento não pode ser elevado para não inviabilizar investimentos no setor;
- v. Melhorias na transmissão mecânica: Em termos de viabilidade também depende dos fabricantes.

b) Prioridades adotadas

O programa italiano está estritamente relacionado as prioridades e definições da população de motores e também no potencial de economia de energia. A tabela 3.4 apresenta a relação existente entre questões técnicas, as ações implementadas e os campos onde as ações devem ser desenvolvidas, principalmente educação e treinamento, assistência técnica etiquetagem e acordos voluntários.

Tabela 3.4 – Relação entre ações e questões técnicas (Russo, 1977)

Questões Técnicas	Ações			
	Educação	Assistência técnica	Etiquetagem	Acordos voluntários
Motores de alta eficiência	⊗		⊗	x
Melhorias na rebobinagem	x			
Otimização do dimensionamento	⊗	⊗		
Dispositivos de velocidade variável	x	⊗	x	x
Melhorias na transmissão mecânica	x			

○ Prioridade estratégica ENEL

X Pontos técnicos abordados

Algumas estratégias do programa italiano coincidem com o programa DNS, como:

- Educação e treinamento, de modo especial em motores de alta eficiência e escolha correta do tamanho adequado de motores;
- Assistência técnica, focada na escolha do tamanho do motor, e largamente na aplicação de dispositivos de velocidade variável;
- Etiquetagem para motores de alta eficiência, definindo suas classes, baseado nos valores de eficiência.

A primeira ação tomada foi com relação à assistência técnica aos usuários e consistiu na preparação de um guia para escolha de motores de indução trifásicos de baixa tensão, entre 0,75 e 22 kW. Outra ação foi na área da educação e

etiquetagem, coordenada com o programa europeu. Em adição, o programa tornou-se um bom suporte para o desenvolvimento do programa europeu, ajudando a definir a população de motores na Europa e o potencial de economia de energia.

3.2.5 Suíça (Neubauer, 1997)

O programa RAVEL foi um dos três programas iniciados pelo governo suíço em 1990 relacionado a questões de condições econômicas, que inicialmente teria duração de 6 anos. Este programa possui objetivos relacionados a questões ambientais e políticas econômicas, para aquisição e distribuição de conhecimentos, para gerar uso eficiente de energia. A matriz RAVEL, na tabela 3.5, apresenta o consumo de energia dos principais consumidores na Suíça. As colunas mostram os campos ativos que oferecem potencial de economia de energia, associadas a departamentos, aquecimento, força, iluminação, eletrodomésticos e diversos. Alguns departamentos foram acrescentados depois, como leis, contratos eletrônicos e vendas.

Os recursos alocados para o programa foram de responsabilidade de uma comissão de representantes da sociedade e organizações de energia. No ano de 1990 foram desenvolvidos 65 projetos de investigação e foram realizados 500 cursos, com participação de aproximadamente 11.500 pessoas. Atualmente a biblioteca conta com 155 manuais de cursos. O programa também alcançou outros resultados, com respeito a educação e treinamentos em energia eficiente.

Tabela 3.5 – Matriz RAVEL: Principais consumidores e consumo em 1995
(Neubauer, 1997)

Matriz RAVEL		Departamentos RAVEL				
		Aquecimento 45,2%	Força 34,8%	Iluminação 8,8%	Eletrodomésticos 6,9%	Diversos 4,3%
Clientes - Categorias	Indústria 33,6%	Arcos, Indução, infravermelho, aquecedores 9,5%	Motores e dispositivos, transporte 20,7%	Iluminação artificial 1,6%		
	Aparelhos domésticos 30,7%	Aquecedores elétricos, Aquecimento de água, Condicionador de ar 23%		Lâmpadas incandescentes e fluorescentes 3,8%	Motores para bombas e ventiladores, ferramentas, rádio e TV's 3,9%	Automação predial, Controle, Segurança
	Serviços + Agricultura 27,5%	Sistemas de refrigeração, Processos de Comida, Cozinhas 12,4%	Elevadores, Sistemas de Transporte, Câmaras frias 6,4%	Vitrines, holofotes 3,2%	Equipamentos de escritórios, PC's 3%	Sistemas de comunicação 2,5%
	Comércio + Transporte 8,2%	Ventilação de túneis, Ar condicionado de carros, 0,3%	Sistemas de transporte, Indústria de transporte 7,7%	Iluminação de estradas, túneis 0,2%		Suprimento de energia, Sistemas de sinalização

Alguns pontos fortes do programa foram:

- alto padrão de conhecimento dos profissionais envolvidos;
- Mais de um terço dos participantes de cursos confirmaram repetir na prática o conhecimento adquirido;
- Na indústria o programa contribuiu para uma notável sensibilidade nos tópicos de economia de energia;
- Melhor presença de mercado das empresas, devido a qualidade dos produtos e habilidade em solucionar questões complexas, envolvendo eficiência energética.

O programa, que apresentou prestígio até em outros países, também teve alguns pontos fracos:

- O Programa não pôde mudar as condições de limitações políticas, conseqüentemente, o impacto econômico ficou inicialmente limitado;
- A estrutura econômica e em parte a situação política também não eram satisfatórias durante a ocorrência do programa.

Entretanto, no campo da educação o programa obteve êxito, como a aplicação por parte dos participantes dos conhecimentos agregados, os dados práticos dos manuais e a utilização de informações relativas a economia, medição e novas tecnologias.

a) Possibilidades de economia

O consumo elétrico em uma primeira análise nas indústrias foi dividido em indústrias químicas, têxtil, metais e cimento, mostrado na tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Energia convertida por dispositivos elétricos na Suíça em 1995 (Neubauer, 1997)

Ramos Industriais	Energia Elétrica [TJ]	Dispositivos Elétricos - Energia [%]
Máquinas	9564	*
Química	7313	57
Metal	6321	64
Papel	4238	88
Têxtil	2236	76
Cimento	1545	89
Comidas	688	*
Construção	266	*
Plástico	206	*

Em um balanço energético feito pelo departamento de energia suíço, constatou-se que o consumo de máquinas representava 60% da energia, principalmente em dispositivos sem controle eletrônico.

Atualmente, 130 milhões de motores estão em operação na Suíça. Motores elétricos são ditos como eficientes conversores eletromecânicos, para potências acima de 20 kW. Pequenos motores têm geralmente uma eficiência menor. Uma razão, entre outras, se dá ao sobredimensionamento dos sistemas, durante seus projetos. A maioria deles está trabalhando com cargas inferiores a sua capacidade, acarretando baixa eficiência. Um relevante potencial de economia pode então ser identificado.

b) Estratégias de melhorias para projetos de acionamentos

Pesquisas realizadas mostraram que uma grande maioria dos motores elétricos estavam carregados de forma inadequada. Este sobredimensionamento acarreta em diminuição da vida útil da máquina, e em muitos casos desperdícios elevados de energia e redução da eficiência. As medidas a seguir, foram adotadas no programa suíço, para melhoria de eficiência:

- Melhoria de todos os componentes do acionamento, particularmente no carregamento do motor;
- Aplicação de novas tecnologias para conversão eletromecânica, por exemplo, o uso de ímãs permanentes para sistemas de excitação do motor;
- Treinamentos em dispositivos de eficiência energética.

O programa suíço buscou, com ajuda de sistemas informatizados, realizar projetos de otimização de acionamentos elétricos, incluindo uma melhor seleção de motores e desenvolvimento de sistemas de controle.

Engenheiros de várias indústrias e colégios técnicos foram os mais interessados nos cursos. Nos primeiros cursos o foco principal era a identificação nos processos de trabalho, de projetos de otimização dos acionamentos. As discussões durante os exercícios de estudo de caso e as demonstrações práticas mostravam a necessidade de promover conhecimentos, e a cada curso, os participantes tinham expectativas em solucionar seus problemas particulares. Todas

estas expectativas trouxeram melhorias aos cursos, conseqüentemente um crescimento das soluções de problemas reais das indústrias. Projetos comuns envolveram trocas de experiências e o planejamento dos cursos.

3.2.6 Reino Unido (Falkner, 1997)

O programa do Reino Unido, denominado EEBPp - *Energy Efficiency Best Practice programme*, possuía como missão contribuir na redução da emissão de carbono. O mesmo pôde ser alcançado primeiramente com educação e com a busca e desenvolvimento de novas tecnologias de economia de energia, através de assistência financeira aos usuários finais. O objetivo foi apresentar aos gerentes industriais, comerciais, de setores públicos e outros usuários, uma informação imparcial e de credibilidade, na medição da eficiência energética.

O departamento de Meio Ambiente, na divisão indústria, ETSU, trabalhou para promover eficiência energética nas indústrias. Este trabalho ocorreu através de grupos de gerentes de projetos dedicados aos setores de tecnologia, entre eles, cogeração, caldeiras, motores e acionamentos de ar comprimido, sensores e sistemas de controle avançados. Um grupo de 7 gerentes trabalhou no setor de *marketing*, dedicados a administração e promoção de atividades. Os projetos técnicos foram divididos em cinco categorias, para satisfazer as necessidades do mercado:

- Estudo de casos de práticas já realizadas, que mostram a energia e os custos com economia, independentemente da implantação de técnicas já comprovadas;
- Guias práticos, uma forma compreensível de informação, em pequenos livros e formulários, de forma imparcial, para medidas de eficiência energética;
- Estudo de casos de novas práticas, que ajuda a promover aceitação de mercado, de novas tecnologias e medidas;

- Busca e desenvolvimento de práticas futuras, na busca de suporte ao desenvolvimento de novas tecnologias;
- Guias de consumo de energia, para comparação do consumo de energia de processos e equipamentos com outros de categoria similar.

Todas as publicações são escritas por consultores independentes, sendo distribuídas de forma gratuita, podendo ser encontrados também recursos audiovisuais.

a) Promoção de atividades

Os projetos são executados em uma rota variável e de acordo com o objetivo de cada região. Os mesmos podem incluir:

- Eventos promovidos pelo ETSU em nome do departamento de Meio Ambiente;
- Suporte a eventos e realizações de comércio e organizações profissionais;
- Impressão de artigos;
- Espaço para convenções.

Para motores e acionamentos são realizados em média, 6 eventos a cada ano, dentro de 12 regiões no Reino Unido. Cada região está baseada na Região Oficial de Eficiência Energética, as quais são gerenciadas por funcionários do governo. O trabalho dos mesmos é promover a eficiência energética e melhores práticas ambientais, nas empresas de sua região.

O formato destes eventos geralmente é com palestras, além de sites com estudos de caso. Os palestrantes são os próprios fabricantes, ou pessoas capacitadas. Os eventos também promovem seminários.

b) Projetos Chave

Uma das maiores barreiras ao uso dos motores de alta eficiência, foi o fato dos mesmos serem comprados pelos fabricantes de equipamentos que depois vendiam seus produtos a preços mais baixos. Para solucionar este problema, através do programa EEBPp foi desenvolvido o Programa W, uma variedade de motores de alta eficiência. Estes motores foram fabricados com uma média de 3% de melhoria na eficiência, acima dos motores padrão, mas com preço compatível. Isso causou um efeito positivo no mercado. Muitos estudos de caso foram publicados, no sentido de demonstrar o uso destes motores em várias aplicações.

Outras publicações relacionadas ao assunto incluíram projetos para utilização correta do dimensionamento da máquina e o uso de conexão estrela permanente para motores com cargas pequenas. Outros projetos têm-se desenvolvido em dispositivos eletrônicos de redução de tensão, porém com aplicações muito limitadas. Existe um projeto também para desenvolvimento de um guia para reparo de motores.

c) Acionamentos de Velocidade variável (ASD's)

A grande economia gerada pelos ASD's tornou-se muito importante para o EEBPp. Estudos de casos com ventiladores e bombas têm sido publicados, sendo em geral bons guias práticos no uso de ASD's, para eficiência energética. Alguns programas nesta área também estão à disposição.

d) Outras medidas

Algumas medidas de baixo custo foram adotadas, como o desligamento automático de motores que estão ociosos e o uso de polias de diferentes tamanho, e motores de velocidades múltiplas.

3.2.7 Alemanha (Rise, 1997)

a) A estrutura principal do mercado

A estrutura do mercado de motores alemão pode ser entendida na figura 3.5.

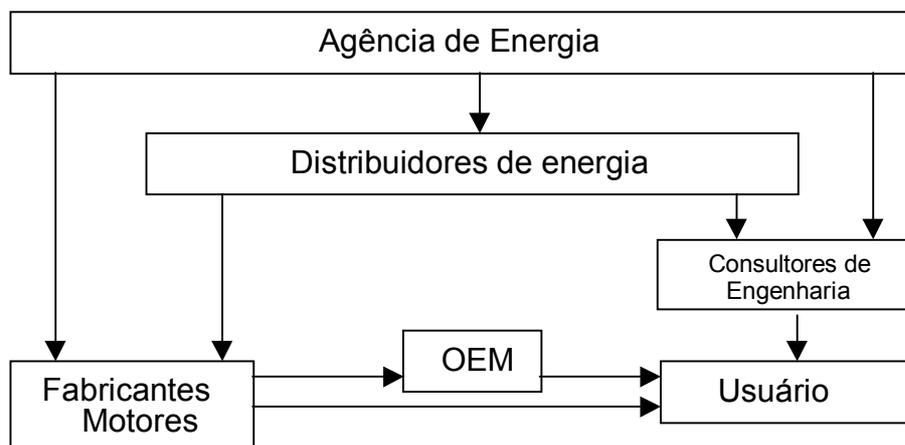


Figura 3.5 – Estrutura do mercado de motores alemão (Rise, 1997)

Para validar este modelo, um sistema de subsídios foi utilizado.

b) Os elementos do modelo

- Usuários finais/clientes: São os elementos mais importantes na conexão do modelo, pois são eles que decidem qual o tipo de motor desejam comprar. Os mesmos são influenciados por:
 - A agência de energia alemã, pelo sistema de subsídios;
 - Fabricantes de motores e matérias, com visitas técnicas e cursos;
 - Consultores de energia, cursos;
 - Distribuidores de energia;
 - Elementos do OEM - *Original Equipment Manufacturers*.

- A Agência de Energia Alemã: É ela quem fornece os subsídios necessários para compra de motores eficientes. A mesma pode influenciar fabricantes de motores e de produtos elétricos através de reuniões e contatos regulares e também os usuários finais, através dos descontos proporcionados;
- Fabricantes OEM: São os elementos mais difíceis de serem motivados ao uso de motores de alta eficiência. A razão é a competição de preços, muito complicada nesta área, tipicamente em fabricas de ventilação. Os fabricantes OEM influenciam os usuários finais;
- Os fabricantes de motores: Os fabricantes de motores fornecem os motores. Os mesmos influenciam os fabricantes OEM e os usuários finais;
- Os distribuidores de energia: São os responsáveis pela campanha dos motores de alta eficiência. Os mesmos influenciam os fabricantes de motores, os fabricantes OEM, os engenheiros consultores e os usuários finais.

c) Ferramentas

A Agência alemã utiliza de duas ferramentas para aumentar a eficiência dos motores: Padrões obrigatórios e Sistemas de descontos.

- i. Padrões obrigatórios: A Agência Alemã estabeleceu um padrão obrigatório especificando os níveis de eficiência dos motores que são vendidos no mercado alemão. Esse padrão fez com que os motores de eficiência mínima desaparecessem do mercado;
- ii. Sistema de Descontos: Paralelo ao estabelecimento dos padrões obrigatórios, foi preparada uma política de descontos para motores de alta eficiência. O mesmo é caracterizado por ser de implementação mais cara do que o estabelecimento de padrões mínimos, pois requer pagamento de subsídios e a administração destes pagamentos, além de outros aspectos.

A tabela 3.7 apresenta a eficiência mínima que um motor deve apresentar para obter subsídios do governo:

Tabela 3.7 - Motores de alta eficiência, eficiência mínima para obtenção de subsídios (Rise, 1997)

Potência de saída (kW)		0,55	0,75	1,10	1,50	2,20	3,00	4,00	5,50	7,50	11,00	15,00	18,5
Eficiência (%)	2 pólos	80,0	81,0	81,0	82,0	84,0	85,0	86,0	87,0	89,0	90,0	91,0	92,0
	4 pólos	77,0	78,0	78,0	80,0	82,0	84,0	86,0	87,0	88,0	90,0	91,0	92,0
Potência de saída (kW)		22,00	30,00	37,00	45,00	55,00	75,00	90,00	110,00	132,00	160,00	200,00	250,00
Eficiência (%)	2 pólos	92,50	93,00	94,00	94,00	95,00	95,00	95,50	96,00	96,50	96,50	96,50	96,50
	4 pólos	92,50	92,50	94,00	94,00	95,00	95,00	95,50	96,00	96,00	96,00	96,50	96,50

Os subsídios podem ser para novas instalações, onde o valor é de DKK 100 (moeda corrente) por kW do motor. Este subsídio está limitado ao máximo de 26% do preço do motor. Já para a substituição de motores o subsídio é de DKK 250 por kW, chegando ao máximo a 26% do custo total de substituição dos mesmos. Os custos com o trabalho não podem ser incluídos. O valor de DKK 10.000 é o teto máximo para pagamento de subsídios. Este sistema foi utilizado por grande parte das indústrias em grandes projetos.

d) Divulgação da Campanha

Para a divulgação da campanha, o departamento de energia alemão trabalhou em grupos, desenvolvendo atividades como:

- Cursos mantidos por consultores de energia de companhias elétricas;
- Serviço de mala direta aos usuários finais;
- Propagandas em jornais e revistas;
- Artigos;
- *Homepages* na Internet;

- Cooperação entre fabricantes de motores OEM.

A campanha iniciou-se em 3 de setembro de 1996 e o número de motores de alta eficiência têm aumentado. Muitos fabricantes de motores têm anunciado a possibilidade de fornecer motores de alta eficiência, sendo possível a compra de motores de todos os tamanhos.

e) Potencial de Economia

A indústria alemã consome cerca de 9.360 GWh por ano, aproximadamente 70% são utilizados em processos com motores, de acordo com a figura a seguir.

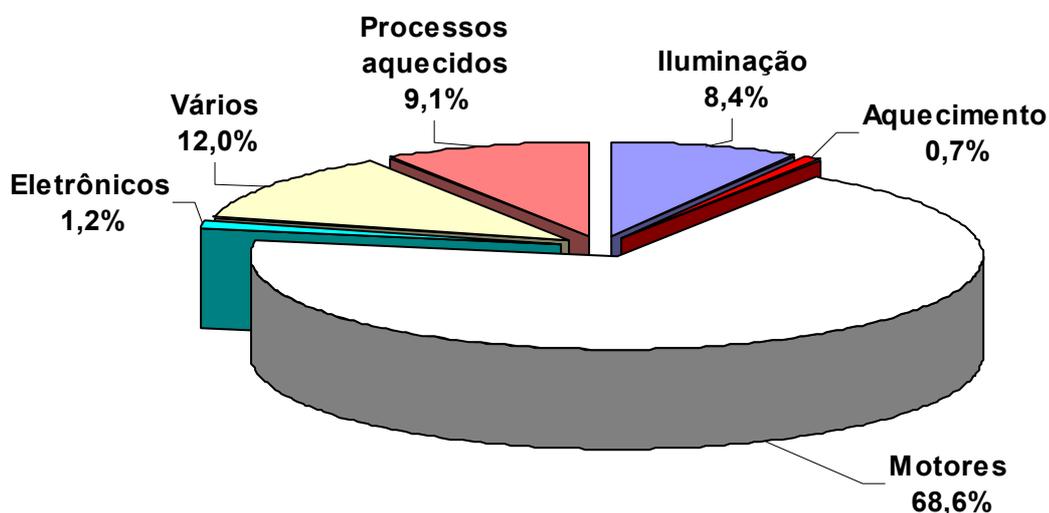


Figura 3.6 – Consumo para a indústria alemã (Rise, 1997)

f) Perdas em motores

As perdas em motores podem ser distribuídas em relação ao tamanho. Motores abaixo de 30 kW tem maior potencial de economia. Para ser mais preciso, na figura 3.7 tem-se que 69% das perdas ocorrem em motores menores que 30 kW. Isso ocorre pois o nível de eficiência em motores pequenos é menor do que em motores maiores. De fato os motores de menores potências geralmente são mais sobredimensionados do que motores maiores.

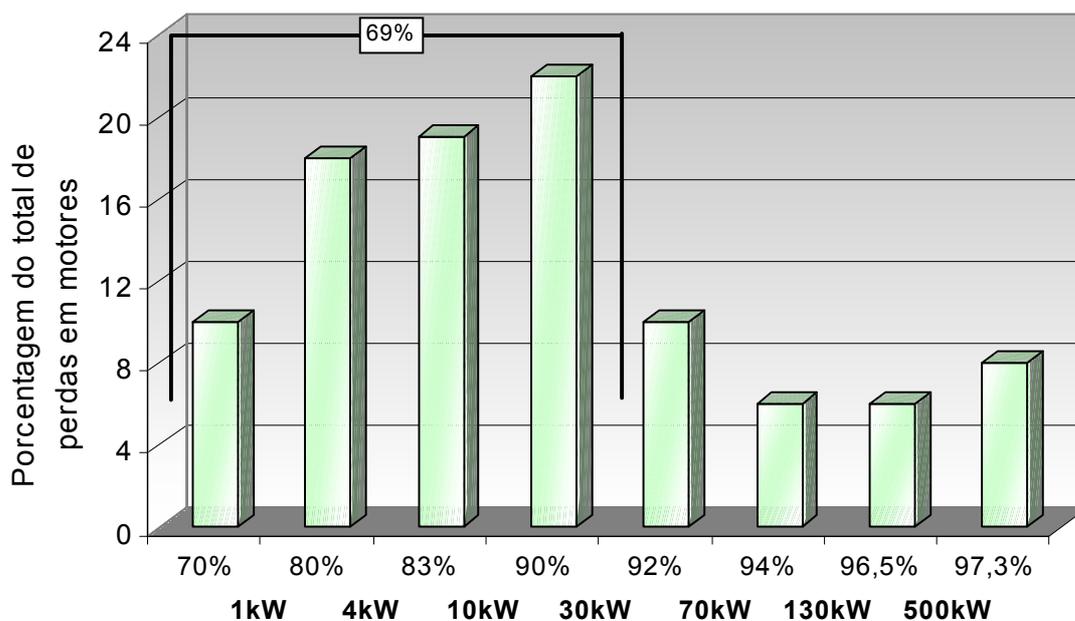


Figura 3.7 – Motores elétricos na indústria, distribuição das perdas (Rise, 1997)

g) Economia gerada por motores de alta eficiência

O ganho em eficiência quando da aplicação de motores de alta eficiência menores que 30 kW pode ser visto na figura 3.8. Estes constituem cerca de 84% do obtido. O total economizado com a indústria alemã chegou a 127 GWh. Baseado nestes valores foi iniciada uma consultoria em parceria com a campanha de motores de alta eficiência, com foco nos motores de 0,55 a 30 kW. Isto se deu pelo fato de que o sistema de subsídios tem maior atenção para motores de maiores potências.

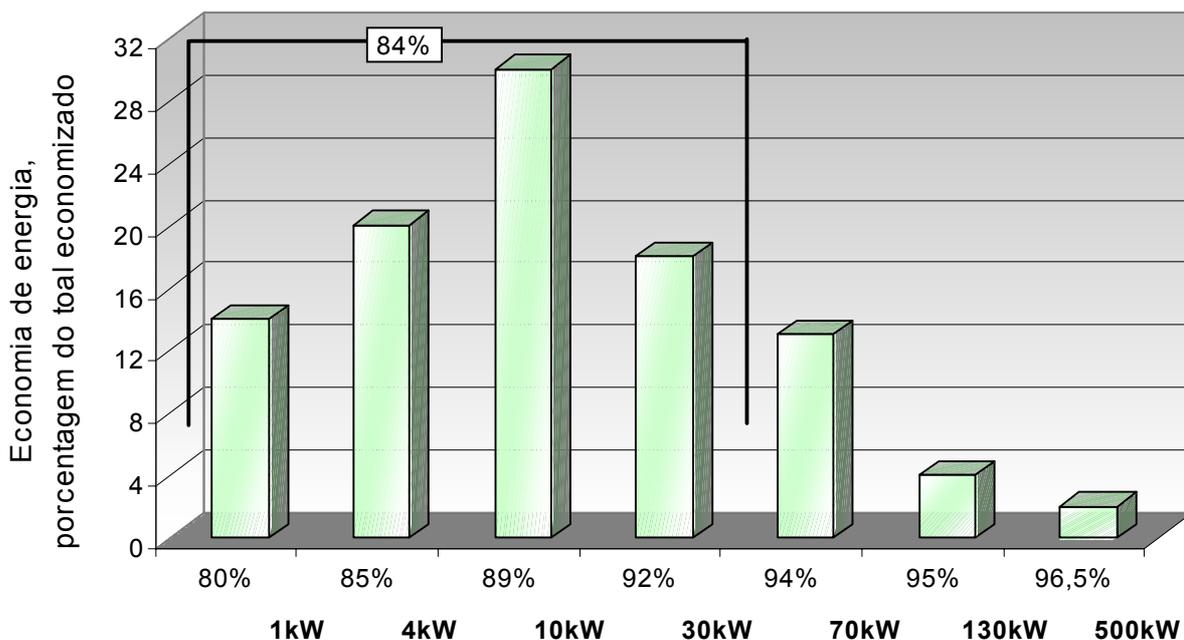


Figura 3.8 – Energia economizada com utilização de motores de alta eficiência, 127 GWh (Rise, 1997)

3.3 Panorama Nacional

3.3.1 A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia

Através da Lei 10.295, de 17 de dezembro de 2001, fica definida a política nacional de conservação e uso racional de energia, com objetivo de alocação de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente.

Esta lei define que o poder executivo tem a função de estabelecer os níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, baseado em indicadores pertinentes.

Estes níveis devem ser estabelecidos com base em valores técnica e economicamente viável, levando em conta a vida útil das máquinas e aparelhos consumidores de energia.

Fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos que consomem energia devem adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética. Para os importadores fica estabelecida a necessidade de comprovação de atendimento aos níveis estabelecidos, durante processo de importação.

O Decreto 4.059, de dezembro de 2001, que regulamenta a lei 10.295, estabelece a criação CGIEE, Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, formado por órgãos e entidades do Ministério de Minas e Energia Elétrica, o Ministério da Ciência e Tecnologia e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

É competência do CGIEE elaborar o plano de trabalho e o cronograma, a regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, estabelecer o programa de metas (com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado), constituir comitês técnicos, acompanhar, avaliar e fiscalizar o processo de regulamentação.

A ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANP - Agência Nacional do Petróleo, o INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, as Secretarias Executivas do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia, e do CONPET - Programa Nacional de Racionalização do Uso e Derivados de Petróleo e Gás Natural fornecem apoio técnico ao CGIEE e aos comitês técnicos por ele instituídos.

Os níveis máximos de consumo, ou mínimo de eficiência são publicados através do Decreto 4.508 de 11 de dezembro de 2002, onde fica estabelecida a regulamentação específica dos níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução, rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importado, para comercialização ou uso no Brasil, incluindo tanto os motores comercializados isoladamente quanto os que fazem parte de outros equipamentos.

Os motores objetos desta regulamentação possuem as seguintes características:

- I. Para operação em rede de distribuição de corrente alternada trifásica de 60 Hz, e tensão nominal até 600 V, individualmente ou em quaisquer combinações de tensões;
- II. Freqüência nominal de 60 ou 50 Hz, para operação em 60 Hz;
- III. Uma única velocidade nominal ou múltiplas velocidades para operação em uma única velocidade nominal;
- IV. Nas potências nominais de 1 a 250 cv ou HP (0,75 a 185 kW) nas polaridades de 2 a 4 pólos;
- V. Nas potências de 1 a 200 cv ou HP (0,75 a 150 kW) na polaridade de 6 pólos;
- VI. Nas potências de 1 a 150 cv ou HP (0,75 a 110 kW) na polaridade de 8 pólos;
- VII. Para operação contínua, ou classificado como operação S1 conforme a Norma Brasileira - NBR 7094/2000, da ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- VIII. Desempenho de partida de acordo com as características das categorias N e H da norma NBR 7094/2000, da ABNT, ou categorias equivalentes, tais como A ou B ou C da NEMA - *National Equipment Manufacturers Association*;
- IX. Seja do tipo totalmente fechado com ventilação externa, acoplada ou solidária ao próprio eixo de acionamento do motor elétrico.

O indicador de eficiência energética utilizado é o rendimento nominal. O método de ensaio para determinação do rendimento nominal é a variação do Método 2 - Ensaio Dinamométrico - com medição indireta das perdas suplementares e medição direta das perdas no estator (I^2R), no rotor (I^2R), no núcleo e por atrito e ventilação, descrito na norma NBR 5383-1/2001 da ABNT – Máquinas Girantes – Parte 1 – Motores de Indução Trifásicos – Ensaio. O rendimento nominal deve ser determinado nas condições de tensão nominal, frequência nominal e potência de saída nominal no eixo do motor.

A tabela 3.8 mostra os índices mínimos de rendimento nominal para motores Padrão e Alto Rendimento:

Tabela 3.8 – Rendimentos nominais mínimos de motores padrão e alto rendimento (Decreto 4508, 2002)

CV OU HP	kW	MOTOR PADRÃO				ALTO RENDIMENTO			
		Pólos				Pólos			
		2	4	6	8	2	4	6	8
1,0	0,75	77,0	78,0	73,0	66,0	80,0	80,5	80,0	70,0
1,5	1,1	78,5	79,0	75,0	73,5	82,5	81,5	77,0	77,0
2,0	1,5	81,0	81,5	77,0	77,0	83,5	84,0	83,0	82,5
3,0	2,2	81,5	83,0	78,5	78,0	85,0	85,0	83,0	84,0
4,0	3,0	82,5	83,0	81,0	79,0	85,0	86,0	85,0	84,5
5,0	3,7	84,5	85,0	83,5	80,0	87,5	87,5	87,5	85,5
6,0	4,5	85,0	85,5	84,0	82,0	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	86,0	87,0	85,0	84,0	88,5	89,5	88,0	85,5
10,0	7,5	87,5	87,5	86,0	85,0	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	87,5	87,5	87,5	86,0	89,5	90,0	88,5	88,5
15,0	11,0	87,5	88,5	89,0	87,5	90,2	91,0	90,2	88,5
20,0	15,0	88,5	89,5	89,5	88,5	90,2	91,0	90,2	89,5
25,0	18,5	89,5	90,5	90,2	88,5	91,0	92,4	91,7	89,5
30,0	22,0	89,5	91,0	91,0	90,2	91,0	92,4	91,7	91,0
40,0	30,0	90,2	91,7	91,7	90,2	91,7	93,0	93,0	91,0
50,0	37,0	91,5	92,4	91,7	91,0	92,4	93,0	93,0	91,7
60,0	45,0	91,7	93,0	91,7	91,0	93,0	93,6	93,6	91,7
75,0	55,0	92,4	93,0	92,1	91,5	93,0	94,1	93,6	93,0
100,0	75,0	93,0	93,2	93,0	92,0	93,6	94,5	94,1	93,0
125,0	90,0	93,0	93,2	93,0	92,5	94,5	94,5	94,1	93,6
150,0	110,0	93,0	93,5	94,1	92,5	94,5	95,0	95,0	93,6
175,0	132,0	93,5	94,1	94,1		94,7	95,0	95,0	
200,0	150,0	94,1	94,5	94,1		95,0	95,0	95,0	
250,0	185,0	94,1	94,5			95,4	95,0		

Os valores citados nesta tabela estão sujeitos às tolerâncias descritas na norma NBR 7094/2000 da ABNT.

A placa de identificação do motor deve conter claramente o rendimento e o fator de potência, observados os demais requisitos definidos na norma NBR 7094 da ABNT.

As máquinas que possuem motores como um de seus componentes, chamadas máquinas motrizes de uso final, e que tenham regulamentação específica própria relativa aos níveis mínimos de eficiência ou máximos de consumo, não fazem parte da regulamentação específica de motores, e a comprovação quanto ao atendimento cabe aos fabricantes. Porém, aquelas em que seus motores se enquadram nas características citadas acima, devem possuir, na sua placa de identificação ou em placa adicional, os dados do motor ou dos motores componentes, explicitando as informações de rendimento e fator de potência.

Para avaliação da conformidade, antes da comercialização de um modelo básico de motor, o fabricante ou importador deve submetê-lo ao INMETRO para autorização de comercialização no Brasil. O motor básico é um motor que representa um conjunto de motores com as mesmas características elétricas e mecânicas, produzido por um mesmo fabricante. Porém, a autorização de comercialização conferida pelo INMETRO não isenta o fabricante ou importador da responsabilidade de comercializar seus equipamentos dentro dos índices mínimos de eficiência definidos pela regulamentação.

A fiscalização do cumprimento das disposições da regulamentação está a cargo do INMETRO e das entidades de direito público que com ele tenham convênios. O não cumprimento das disposições acarreta aos infratores a aplicação de penalidades previstas na Lei 10.295/2001.

Para que se possa ter uma melhor caracterização dos motores objeto da Regulamentação Específica de Motores, pode-se observar as seguintes descrições:

a) Motores de velocidade variável: Motores de várias velocidades e motores de velocidade variável, como aqueles para uso com inversores, não são equipamentos abrangidos pela regulamentação, uma vez que seus projetos são para uso em velocidade variável. Porém, ser adequado para uso com inversor não exime o motor das exigências definidas na regulamentação, desde que sejam atendidos os outros critérios constantes da mesma.

b) Motor com selo Mecânico ou Retentores: Se um motor sem selo mecânico ou retentor é abrangido pela regulamentação, então, o motor com selo mecânico correspondente também será. No entanto, é necessário que o rendimento do referido motor seja aferido em ensaios com a retirada dos selos ou retentores.

c) Motores com Potência Intermediária: Para motores construídos com potências intermediárias aquelas citadas na Tabela 2.1 e abrangidos pela regulamentação, o valor do rendimento mínimo que se aplica é o da potência adjacente mais próxima da potência nominal do mesmo. Para motores com potências equidistantes de duas potências adjacentes, deverá ser exigido o rendimento do motor com potência superior a dele.

d) Motores para Bombas Monobloco: Motor com características que atendam a regulamentação e que possa ser acoplado a uma bomba, por exemplo, por meio de uma tampa com flange C ou D.

e) Motores acoplados a acionadores eletromecânicos: Motor que atende as características da regulamentação e que é conectado a um acionador mecânico de engrenagens ou a um conjunto de engrenagens, tais como um redutor de velocidade a engrenagens, conectado por acoplamento direto, correias, parafusos, ou outros meios.

f) Motores com rolamentos especiais: Motor que atende as características da regulamentação, cuja aplicação exige rolamentos de rolos ou rolamentos para carga axial. É permitido que o rendimento do motor seja aferido em ensaios com a utilização de rolamentos de esferas radiais.

g) Motores especiais: Motores elétricos de indução trifásicos com projetos elétricos e mecânicos especiais para aplicações específicas, como bombas monoblocos e construção JM e JP e moto-freio, sendo o freio montado dentro do motor, estão excluídos da regulamentação.

h) Motores em áreas classificadas: Motores elétricos certificados para áreas classificadas, com exceção daqueles do tipo não acendíveis, não estão abrangidos pela regulamentação.

3.3.2 O Programa Brasileiro de Etiquetagem

O PBE, Programa Brasileiro de Etiquetagem, é um programa de conservação de energia, que atua através de etiquetas informativas, com o objetivo de alertar o consumidor quanto a eficiência energética de alguns dos principais eletrodomésticos nacionais.

O PBE é decorrente do Protocolo firmado em 1984 entre o então Ministério da Indústria e do Comércio e a ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, com a interveniência do Ministério das Minas e Energia.

O mesmo visa prover os consumidores de informações, para que possam avaliar e otimizar o consumo de energia dos equipamentos eletrodomésticos, selecionar produtos de maior eficiência em relação ao consumo, e melhor utilizar eletrodomésticos, possibilitando economia nos custos de energia.

A adesão ao Programa Brasileiro de Etiquetagem é voluntária. Só são feitos testes com os produtos dos fabricantes que querem fazer parte do PBE. A partir dos resultados, é criada uma escala onde todos serão classificados. Esses testes são repetidos periodicamente, a fim de atualizar a escala.

Atualmente, participam do programa diversos produtos, tais como geladeiras, chuveiros, lâmpadas compactas, motores elétricos trifásicos e outros produtos.

O Selo do Prêmio Nacional de Conservação de Uso Racional de Energia do PROCEL é concedido anualmente como forma de premiação aos equipamentos que estejam etiquetados no âmbito do PBE e que tenham obtido classificação "A", ou, no caso dos motores elétricos trifásicos, que tenham um rendimento igual ou superior a limites estabelecidos. Atualmente o selo é concedido para motores elétricos de indução trifásico de potência até 10 cv.

O regulamento RESP004/MOT do Programa Brasileiro de Etiquetagem, busca regular as relações entre o INMETRO e/ ou OCC, na qualidade de órgão certificador, e os fabricantes interessados na utilização da ENCE, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Este regulamento trata especificamente de Motores de Indução Trifásicos.

O que está sendo certificado é a informação prestada pelo fabricante quanto ao rendimento e o fator de potência dos motores testados, medidos conforme as Normas Brasileiras pertinentes e controlado pelo laboratório de ensaios credenciado, que permitirá a colocação da ENCE nos motores objetos da etiquetagem.

O processo de etiquetagem está dividido em três fases:

a) Fase da Aferição Interlaboratorial

Nesta fase, o fabricante ensaia uma peça de uma determinada potência e número de pólos, e a envia juntamente com os resultados para um laboratório credenciado. O laboratório então, ensaia a peça e os resultados obtidos podem ter variação máxima de 0,5%, entre os resultados do fabricante e os do laboratório, por unidade ensaiada.

b) Fase de Medição e Controle

Uma vez terminada a fase de aferição, o fabricante comunica o INMETRO e/ou OCC, que autoriza a fase de início da medição na fábrica ou laboratório de ensaio credenciado. Dada esta autorização, o fabricante ensaia três unidades de mesma potência e número de pólos, enviando os dados completos ao INMETRO e/ou OCC,

através da Planilha de Especificação Técnica - PET/004-MOT, que seleciona ao acaso uma das peças. Após este passo o fabricante será comunicado e deve enviar esta peça ao laboratório credenciado, no prazo máximo de 05 dias, a contar do recebimento do comunicado. Nesta fase, os resultados obtidos têm tolerância de acordo com a norma NBR 7094, em relação à média declarada pelo fabricante e os resultados obtidos pelo laboratório credenciado.

Constatada a conformidade do produto, o resultado será divulgado por Tabelas de Rendimento e Fator de Potência, conforme o Anexo I, emitidas pelo INMETRO e/ou OCC após aprovação pelo GT-MOT - Conservação de Energia/Etiquetagem em Motores Elétricos de Indução Trifásicos.

Em caso de não conformidade, serão ensaiadas mais duas peças, com as mesmas características das anteriores, sendo que as médias das características ensaiadas pelo laboratório credenciado, no ensaio, não deverá ultrapassar a tolerância da norma, em relação à média declarada pelo fabricante.

Se houver reincidência de não conformidade, os resultados fornecidos pelo fabricante, do fator de potência e rendimento, serão alterados conforme os resultados obtidos pelo laboratório credenciado ou então o processo de etiquetagem deve ser reiniciado, a partir da fase de aferição.

c) Fase de Acompanhamento da Produção

Uma vez a cada seis meses e decorridos 180 dias após a assinatura do contrato entre o fabricante e o INMETRO e ou OCC, será feita uma coleta de amostra no estoque da fábrica, com um motor por faixa de potência, para ensaios em laboratório credenciados. Para esta fase, a tolerância dos resultados será de acordo com a norma, em relação aos resultados obtidos do ensaio e os valores constantes na placa de identificação da máquina.

Nesta fase, sendo constatada uma não conformidade, serão ensaiadas mais duas peças, com as mesmas características, cuja média das grandezas obtidas no

ensaio do laboratório credenciado, não deve exceder o valor estabelecido pela norma, em relação à média declarada pelo fabricante.

Caso haja reincidência de não conformidade, os valores da placa de identificação do motor deverão ser alterados de acordo com os valores obtidos pelo laboratório credenciado, com suspensão imediata de utilização da placa não conforme, ou reiniciado o processo de etiquetagem, a partir da fase de aferição.

Os modelos submetidos a ensaios pelo fabricante, devem permanecer a disposição do INMETRO e/ou OCC até a conclusão desta fase, para fins de sorteio das peças para medição em laboratório credenciado.

Para participar do programa de etiquetagem e obter autorização de uso da ENCE, o fabricante interessado deve se manifestar por escrito ao INMETRO e/ou OCC e aceitar as condições escritas nas Normas Brasileiras aplicáveis e as disposições referentes à Etiqueta. Cabe ao fabricante ainda colocar a etiqueta somente nos produtos autorizados, realizar constantemente controles de medição prescritos no regulamento, facilitar ao órgão certificador a coleta de amostras bem como acatar as decisões tomadas pelo mesmo referentes à etiquetagem. O fabricante deve também enviar ao órgão certificador todos os impressos publicitários ou catálogos que façam referência a ENCE, e remeter aos laboratórios credenciados as importâncias estipuladas pelo contrato para uso da mesma.

Por fim, o fabricante deve manter um registro de todas as queixas do consumidor relativas ao produto etiquetado, relativas às características específicas da etiqueta, deixando estas queixas a disposição para eventual consulta por parte do INMETRO e/ou OCC. A etiqueta pode ser suspensa ou até mesmo cancelada caso o fabricante não cumpra qualquer item constante do regulamento.

3.4 Considerações

No Brasil e em diversos países do mundo, a energia elétrica constitui-se como destaque na matriz energética. O consumo crescente, aliado a grandes investimentos que devem ser feitos para atender a demanda, fazem com que a busca por soluções de melhoria da eficiência nos processos e equipamentos que utilizam energia elétrica, torne-se alvo de pesquisas e estudos, envolvendo diversos setores da sociedade.

Os motores elétricos, são utilizados em grande escala, em diversos países e, embora sejam máquinas intrinsecamente eficientes, devido a elevada taxa de uso, tornam-se grandes potenciais na busca de utilização eficiente de energia elétrica. A carga acionada pelo motor, também pode ser alvo de estudos, uma vez que também pode ter sua eficiência otimizada.

A busca por sistemas com motores e cargas mais eficientes, leva vários países a adotarem metodologias, que buscam através de ações variadas, alcançar algum êxito. Dentre as diversas ações apontadas neste capítulo, podem ser destacadas:

- Estudo do mercado de motores, para apuração do potencial econômico;
- Adoção de processos de etiquetagem, na busca de uma padronização da eficiência dos motores;
- Estudos sobre as cargas acionadas, buscando minimizar as perdas;
- Estudos sobre o carregamento do motor;
- Criação de programas de computador para auxiliar, por exemplo, na escolha de motores mais adequados aos processos dos usuários;

- Adoção de políticas econômicas, baseadas na utilização de subsídios, para a substituição de motores antigos, que não estejam de acordo com os novos padrões de eficiência mínima, exigidos pelos processos de etiquetagem;
- Promoção de seminários, programas de treinamento e educação de usuários e demais pessoas envolvidas nos processos que envolvam motores.

Do ponto de vista do setor elétrico, a maior vantagem em se ter sistemas motrizes mais eficientes está na economia gerada de imediato, que minimiza os investimentos em novas usinas e novas linhas de transmissão. Para o usuário, a economia gerada por sistemas mais eficientes resulta em menores gastos com a conta de energia, a otimização dos sistemas motrizes, sendo que esta economia, em termos de valores, pode ser aplicada em outros setores da fábrica, melhorando outros sistemas.

Apenas para efeito comparativo, pode se citar que o custo médio da energia conservada está estimado em 0,024 US\$/kWh, inferior ao custo marginal de expansão do setor elétrico, situado entre 0,047 e 0,100 US\$/kWh (Geller, 1994).

Capítulo 4

4. Avaliação do Potencial de Economia de Energia

4.1 Introdução

A avaliação do potencial de economia de energia elétrica para o Brasil que será apresentada neste capítulo é feita com base em um perfil traçado para o mercado brasileiro de motores de indução trifásicos.

A metodologia consiste em utilizar os dados apresentados no Balanço Energético Nacional de 2004 (Ano-Base 2003), informações sobre venda de motores obtidas através da ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, do estudo da experiência internacional e da legislação brasileira em vigor para motores.

A vida útil média de motores será considerada através dos resultados de uma estatística norte-americana sobre vida útil de motores, na falta de informações para os motores de fabricação nacional.

Ao final serão estimados os valores de potencial econômico para a indústria brasileira na efficientização de sistemas que envolvam motores de indução trifásicos, envolvendo vários cenários possíveis.

4.2 Perfil do Mercado

O Balanço Energético Nacional 2004 (Ano Base 2003) do Ministério de Minas e Energia, mostra que o consumo de energia elétrica no Brasil, em 2003, totalizou

341,9 TWh, relativo aos setores mais significativos. O consumo de cada setor pode ser observado pela distribuição da figura 4.1:

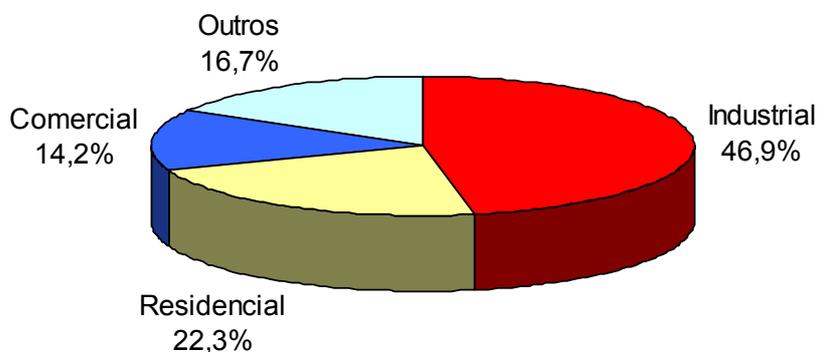


Figura 4.1 – Estratificação do consumo de energia elétrica no Brasil (BEN, 2004)

O setor industrial detém grande parte do consumo de energia no país, cerca de 160 TWh. Para este setor, o consumo pode ser distribuído conforme a figura 4.2.

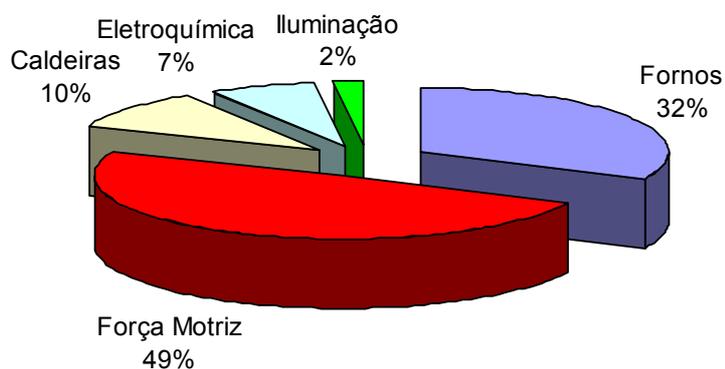


Figura 4.2 – Uso final de energia elétrica no setor industrial (Tabosa et al, 1998)

A participação dos motores no consumo global de energia do país pode ser estimada em 23%, ou seja, cerca de 78,64 TWh. De fato, em algumas regiões do país, o consumo de motores dentro do setor industrial pode chegar até 70% (PROCEL, 2001). Embora os mesmos sejam máquinas intrinsecamente eficientes, é comum encontrar motores operando de forma sobredimensionada, acarretando em baixos fatores de potência e rendimentos.

A figura 4.3 exibe os dados fornecidos pela ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, onde se pode ter uma representação do total de motores estocados e em operação no mercado brasileiro, desde 1980 até o terceiro trimestre de 2003, para motores trifásicos até 600 V.

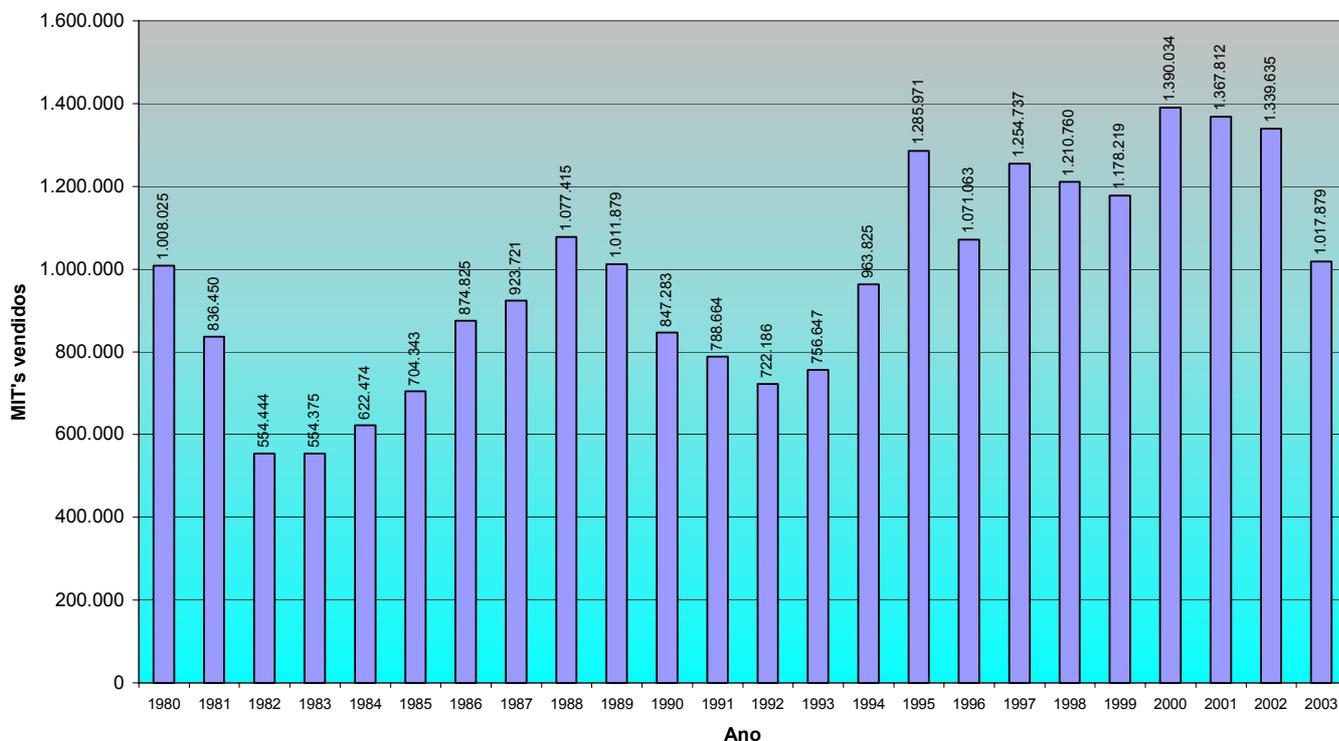


Figura 4.3 – Venda de Motores no mercado interno

Frente ao novo cenário do setor elétrico brasileiro, a regulamentação estabelecida através da Lei 10.295/2001, e seus decretos regulamentadores, uma grande ênfase na busca de potenciais de conservação de energia em sistemas com motores elétricos trifásicos têm se consolidado.

Dentro do setor industrial, os motores são usados para acionamento de cargas como:

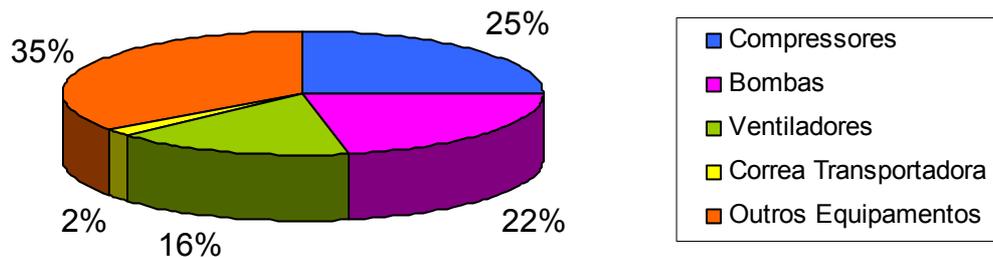


Figura 4.4 – Tipos de uso de motores na indústria (Bortoni, 2004)

Uma correta aplicação do motor representa benefícios imediatos, reduzindo custos de produção e de consumo de energia que refletirá diretamente no lucro, além de representar uma considerável economia de energia, minimizando os investimentos em nova geração de energia elétrica.

4.3 O Brasil e a Experiência Internacional

Os programas adotados por países como os Estados Unidos, França, Alemanha e outros apresentados no capítulo 3, têm em comum a busca por sistemas mais eficientes, principalmente visando economia de energia. Muitas análises podem ser realizadas para melhoria da eficiência em um sistema com motores no setor industrial. Algumas tecnologias como a aplicação de motores de alto rendimento e dispositivos de ajuste de velocidade, foram constantemente mencionadas.

Estas realmente são tecnologias importantes, porém, apenas uma parte do sistema global. Um estudo de melhoria da eficiência energética em motores deve levar em consideração também outros fatores, que em muitos casos, também se apresentam como potencial de economia. Abaixo, estão listados alguns itens que podem ser observados em sistemas com motores, para melhoria da eficiência dos mesmos (SENAI. DN., 2002).

- Otimização do carregamento do motor;
- Novos e melhores tipos de motores;
- Melhores práticas de reparo em motores;
- Adição de Dispositivos de ajuste de Velocidade;
- Melhor eficiência dos equipamentos acoplados aos motores, como ventiladores, bombas e compressores;
- Redução do desperdício de ar comprimido e outros fluídos movidos por motores;
- Otimizações elétricas, como balanceamento de fases, melhoria do fator de potência, correção da tensão e redução das perdas;
- Melhoria dos dispositivos mecânicos, incluindo uma otimização na seleção e tamanho de geradores, correntes e correias.

Com base nos programas e esforços dos casos apresentados, serão apresentadas algumas mudanças que podem ser feitas em sistemas com motores e o impacto econômico das mesmas.

4.3.1 Utilização de Motores de Alto Rendimento

O motor de alto rendimento possui em seu projeto, materiais e processos de fabricação melhores, o que possibilita melhoria em seu rendimento. Uma comparação pode ser observada por dados mostrados na figura 4.5:

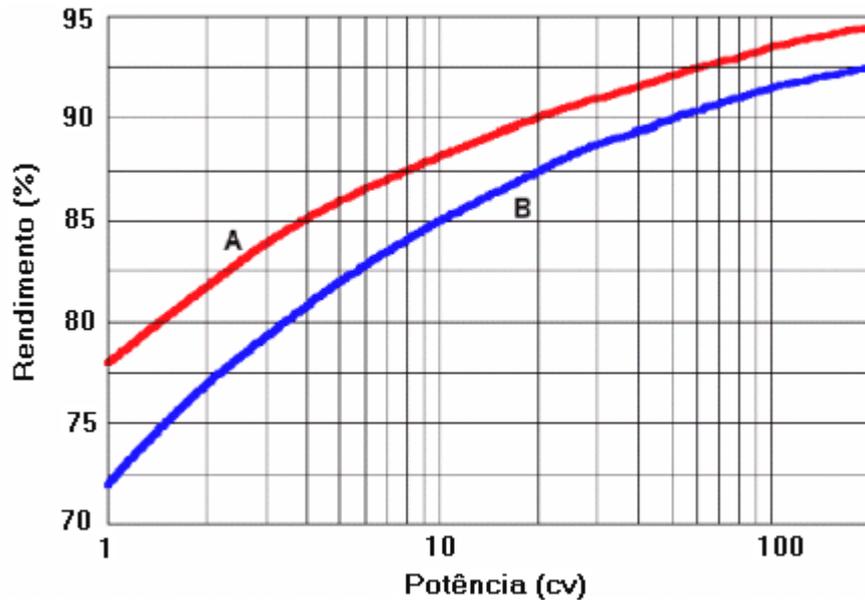


Figura 4.5 – Motores alto rendimento (A) x Padrão (B) (Bortoni, 2004)

Algumas características técnicas alteradas no motor de alto rendimento são:

- Maior quantidade de cobre: Reduz as perdas Joule (perdas no estator);
- Chapa magnética com baixas perdas: Reduz a corrente magnetizante e, consequentemente, as perdas no ferro;
- Enrolamento dupla camada: Provê melhor dissipação de calor;
- Rotores tratados termicamente: Reduz as perdas suplementares;
- Menor região de entreferro: Reduz as perdas suplementares.

Devido a essas melhores características, como os valores de rendimento são significativamente maiores, têm-se uma sensível economia de energia, ou seja, menores valores a serem pagos na fatura de energia, além do fator de possuírem maior tempo de vida útil, pois por ser um motor com baixas perdas, a elevação de temperatura é menor, fator este que determina o tempo de vida útil do motor.

Os motores de alto rendimento possuem rendimentos nominais mínimos normalizados para cada combinação potência x velocidade síncrona. Os fabricantes devem garantir que o rendimento nominal real do motor não pode ser inferior ao rendimento declarado na placa menos a tolerância permitida pela norma NBR 7094/1996 (ELETROBRÁS, 2000).

Através dos dados apresentados na figura 4.3, pode-se construir o gráfico que mostra a venda por faixa de potência de motores no mercado brasileiro, conforme a figura 4.6. Os motores na faixa de 1 a 10 cv, seguidos pelos motores menores que 1 cv e depois pela faixa de 10 a 40 cv são os mais vendidos. A porcentagem ocupada por cada faixa no mercado brasileiro de motores será mostrada na figura 4.7.

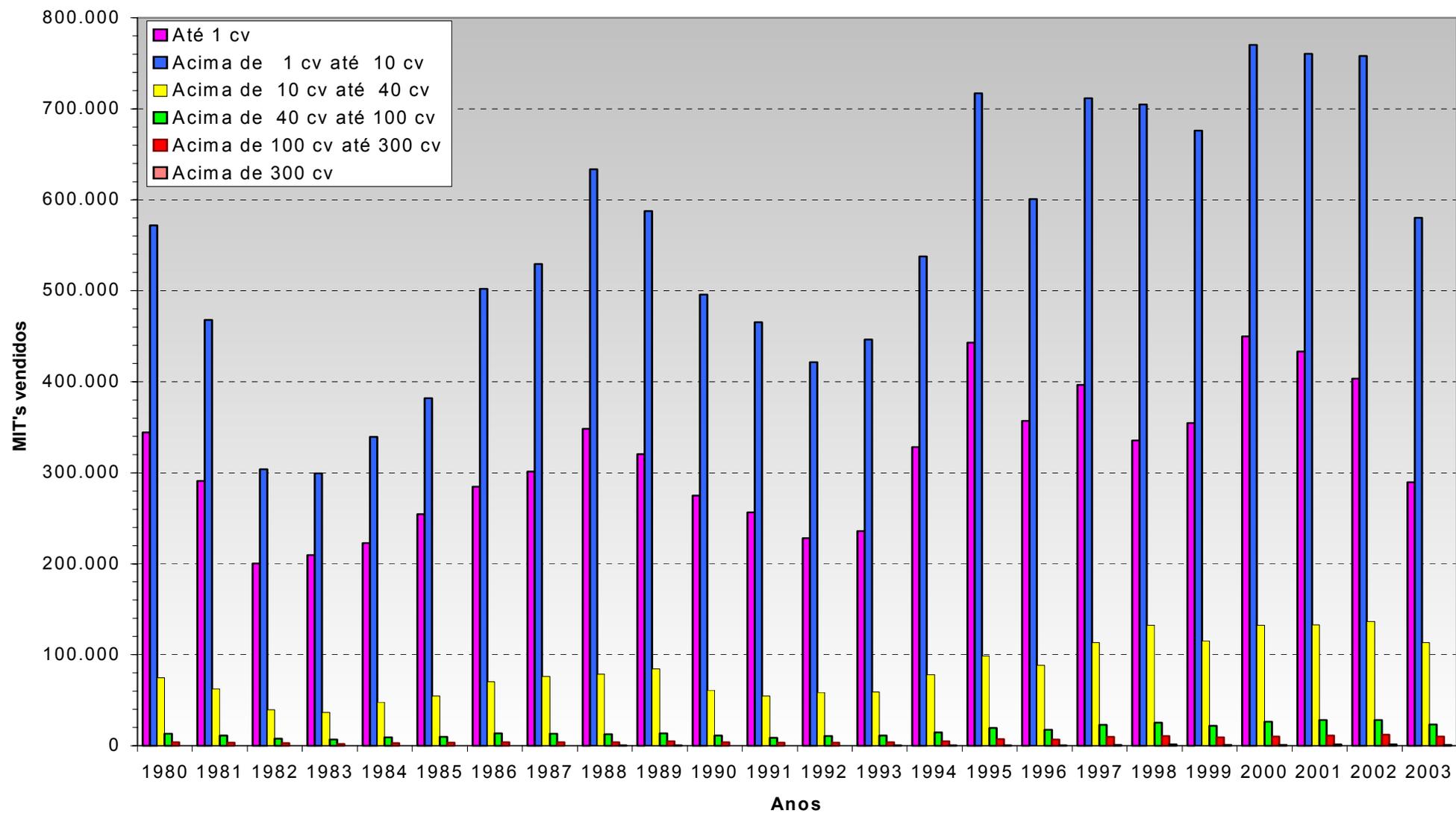


Figura 4.6 – Venda de Motores Classificada por potência

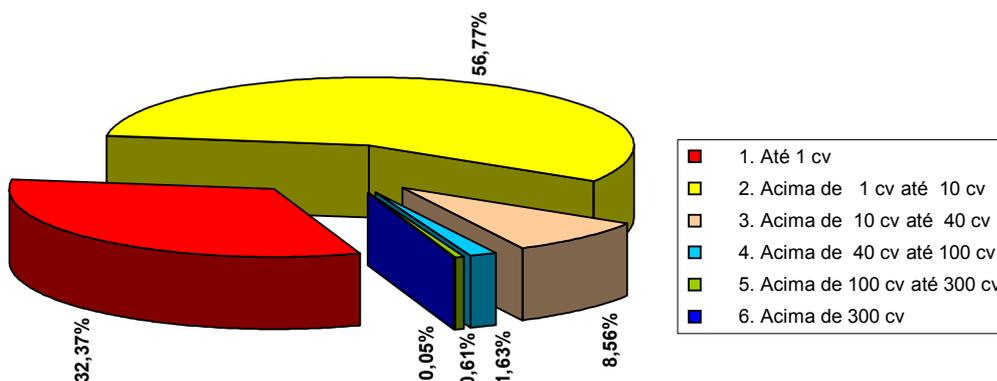
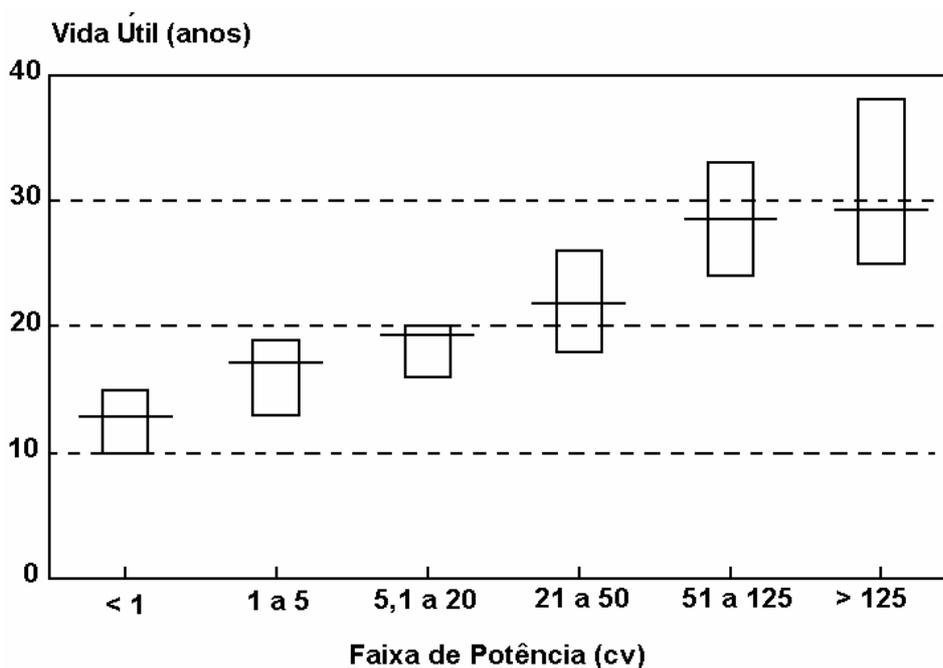


Figura 4.7 – Porcentagem de ocupação dos motores no mercado brasileiro, de 1980 até o terceiro trimestre de 2003, por faixa de potência

Na figura abaixo têm-se os resultados de uma estatística norte-americana sobre vidas úteis de motores. Nessa figura o traçado de cada faixa representa o valor médio da classe. A mesma será utilizada neste trabalho, por falta de maiores informações, relativas ao Brasil.



Média Geral: 13,27 anos

Figura 4.8 – Vidas úteis de motores de indução (Andreas, 1982)

A partir da figura 4.8, pode-se construir a tabela 4.1, com as vidas úteis médias, por faixa de potência (figura 4.7), para motores elétricos do mercado brasileiro.

Tabela 4.1 – Vidas Úteis médias para motores, por faixa de potência

Faixa de Potência	Vida útil média
Até 1 cv	13 anos
Acima de 1 cv até 10 cv	18 anos
Acima de 10 cv até 40 cv	20 anos
Acima de 40 cv até 100 cv	25 anos
Acima de 100 até 300 cv	29 anos

De acordo com a tabela 4.1, pode-se estabelecer que a vida útil média para motores de menos de 1 até 40 cv está em torno de 17 anos.

Pela distribuição das vendas na figura 4.3, nota-se que no início dos anos 90 há uma tendência de aumento nas vendas. Este aumento pode ser justificado pelo processo de substituição de motores do período anterior e aquisição de novas unidades. Pode-se considerar também que a partir de 1994 houve uma mudança na política econômica do país, que também pode ter contribuído para o referido aumento.

Portanto, todos os cálculos apresentados a seguir, levam em consideração que o mercado interno de motores pode ser representado pelo intervalo médio de dezessete anos. Assim o número total de motores estocados e em operação no Brasil está estimado em 17.896.753 unidades (considerando todas as faixas de potência da tabela 4.1 com sua respectiva vida útil média) . Na tabela 4.2 têm-se uma comparação entre o período adotado e o total de vendas desde 1980 até o terceiro trimestre de 2003.

Tabela. 4.2 - Comparação entre o total de vendas até 2003 e o período adotado

<i>Faixa de Potência</i>	Total de Vendas (unidades) 1980 - 2003	Porcentagem (%)	Período médio Adotado (unidades) 1986 - 2003	Porcentagem (%)
Até 1 cv	7.563.421	32,37	4.786.235	26,74
Acima de 1 cv até 10 cv	13.262.660	56,77	10.898.288	60,90
Acima de 10 cv até 40 cv	1.999.937	8,56	1.786.466	9,98
Acima de 40 cv até 100 cv	381.926	1,63	271.042	1,51
Acima de 100 cv até 300 cv	142.788	0,61	142.788	0,61
Acima de 300 cv	11.934	0,05	11.934	0,05
Total Geral	23.362.666	100,00	17.896.753	100,00

Os valores percentuais para cada faixa de potência entre o período adotado e o total de vendas de motores estão muito próximos. Pode-se observar também que os motores até 40 cv ocupam cerca de 97% do mercado brasileiro e estão na região onde se observam justamente os maiores ganhos nos motores de alto rendimento sobre os de projeto padrão (figura 4.5).

O programa de economia de energia da Alemanha, apresentado no capítulo 3, cita que motores até 40 cv tem maior potencial de economia e tendem a ser mais sobredimensionados. Para o Brasil, os motores de 1800 rpm, de acordo com dados de 03 fabricantes diferentes (Siemens, WEG, Eberle – Vide Anexo I), apresentaram perdas médias de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 4.3 - Rendimentos e perdas para motores de 1800 rpm, de 03 fabricantes

POTÊNCIA		Motores EBERLE		Motores KOHLBACH-SIEMENS		Motores WEG	
KW	cv	IV Polos		IV Polos		IV Polos	
		RENDIMENTO	PERDAS	RENDIMENTO	PERDAS	RENDIMENTO	PERDAS
0,75	1,0	78,0	22,00	78,0	22,00	79,5	20,50
1,10	1,5	79,0	21,00	79,0	21,00	79,5	20,50
1,50	2,0	81,5	18,50	81,5	18,50	82,5	17,50
2,20	3,0	83,0	17,00	83,0	17,00	83,0	17,00
3,00	4,0	83,5	16,50	83,0	17,00	83,0	17,00
3,70	5,0	85,0	15,00	85,1	14,90	85,5	14,50
4,50	6,0	86,0	14,00	85,5	14,50	85,5	14,50
5,50	7,5	87,0	13,00	87,0	13,00	88,0	12,00
7,50	10,0	87,5	12,50	87,5	12,50	89,0	11,00
9,00	12,5	87,5	12,50	87,5	12,50	88,5	11,50
11,00	15,0	88,5	11,50	88,5	11,50	88,5	11,50
15,00	20,0	89,5	10,50	90,2	9,80	90,2	9,80
18,50	25,0	90,5	9,50	90,5	9,50	91,0	9,00
22,00	30,0	91,0	9,00	91,0	9,00	91,0	9,00
30,00	40,0	91,7	8,30	91,7	8,30	91,7	8,30
37,00	50,0	92,4	7,60	92,4	7,60	92,4	7,60
45,00	60,0	93,0	7,00	93,0	7,00	93,0	7,00
55,00	75,0	93,0	7,00	93,0	7,00	93,0	7,00
75,00	100,0	93,5	6,50	93,2	6,80	93,2	6,80
90,00	125,0	93,8	6,20	93,2	6,80	93,2	6,80
110,00	150,0	94,1	5,90	93,5	6,50	93,5	6,50
130,00	175,0	94,1	5,90	94,1	5,90	94,1	5,90
150,00	200,0	94,5	5,50	94,5	5,50	94,5	5,50
185,00	250,0	94,5	5,50	94,5	5,50	94,5	5,50

Para cada faixa de potência foram calculados a média dos rendimentos, a média geral dos rendimentos, a média das perdas, a média geral das perdas e o percentual de perdas para cada faixa. Estes dados estão na tabela a seguir:

Tabela 4.4 - Resultados obtidos a partir da tabela 4.3

KW	cv	MÉDIA DOS RENDIMENTOS	MÉDIA GERAL DOS RENDIMENTOS	MÉDIA DAS PERDAS	MÉDIA GERAL DAS PERDAS	PERCENTUAL DE PERDAS
0,75	1,0	78,50	78,50	21,5	21,5	0,35584
1,10	1,5	79,17	84,2	20,8	15,8	0,26199
1,50	2,0	81,83		18,2		
2,20	3,0	83,00		17,0		
3,00	4,0	83,17		16,8		
3,70	5,0	85,20		14,8		
4,50	6,0	85,67		14,3		
5,50	7,5	87,33		12,7		
7,50	10,0	88,00		12,0		
9,00	12,5	87,83	89,9	12,2	10,1	0,16643
11,00	15,0	88,50		11,5		
15,00	20,0	89,97		10,0		
18,50	25,0	90,67		9,3		
22,00	30,0	91,00		9,0		
30,00	40,0	91,70		8,3		
37,00	50,0	92,40	92,9	7,6	7,1	0,11710
45,00	60,0	93,00		7,0		
55,00	75,0	93,00		7,0		
75,00	100,0	93,30		6,7		
90,00	125,0	93,40	94,0	6,6	6,0	0,09864
110,00	150,0	93,70		6,3		
130,00	175,0	94,10		5,9		
150,00	200,0	94,50		5,5		
185,00	250,0	94,50		5,5		

} $\Sigma = 78\%$

A figura 4.9 mostra que para os motores de 1800 rpm, dos fabricantes citados acima, na faixa de menos de 1 cv até 40 cv, ocorrem em média 78% das perdas totais em motores. Este valor é obtido somando-se a coluna percentual de perdas da tabela 4.4, para os motores de menos de 1 até 40 cv.

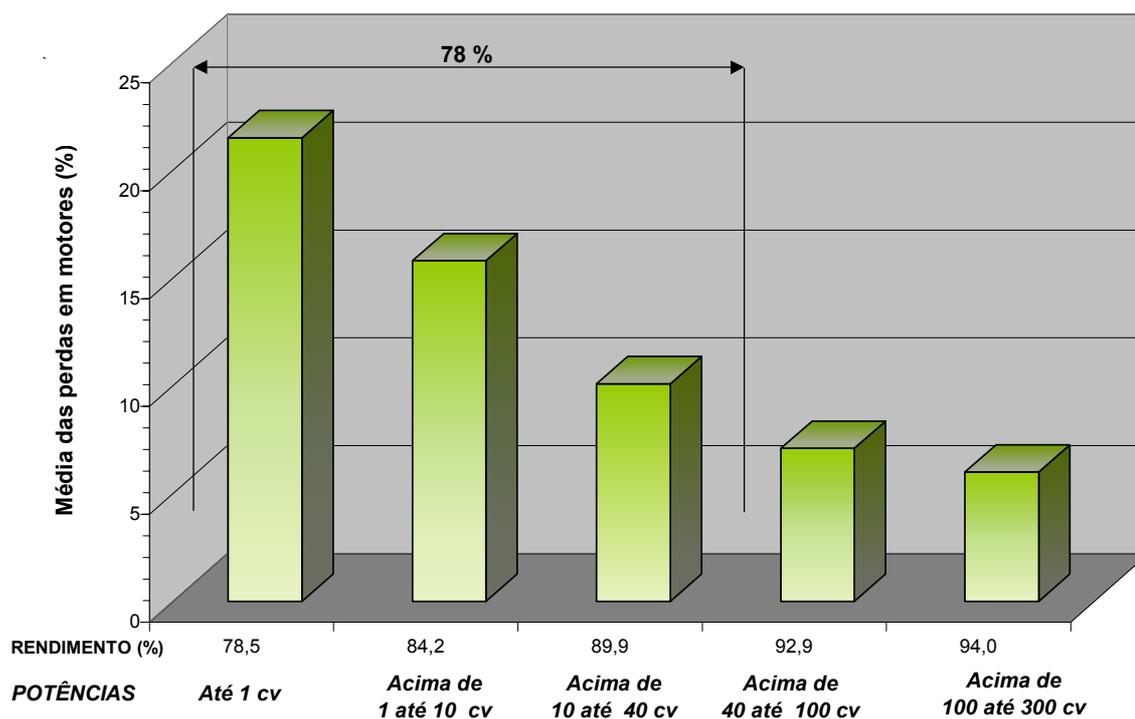


Figura 4.9 – Percentual de perdas por faixa de potência para motores de 1800 rpm

4.3.1.1 Substituição dos motores no mercado por motores de alto rendimento

Supondo que todos os motores até 40 cv possam ser substituídos por motores de alto rendimento, pode-se fazer a seguinte previsão: 78,64 TWh são consumidos pela indústria nos motores. Como os mesmos ocupam cerca de 97% do mercado, a energia consumida pelos mesmos está por volta dos 76 TWh. A tabela 4.5 apresenta uma distribuição proporcional de consumo para cada faixa de potência.

Na tabela 4.5, a coluna “Consumo” representa uma proporção de cada faixa de potência, dentro do consumo total estimado para a indústria. Os dados da coluna “Média Geral dos Rendimentos” foram retirados da tabela 4.4. Desta forma, a coluna “Perda de Energia” mostra que 13,03 TWh, ou seja, aproximadamente 17,15% do consumo representado por motores até 40 cv referem-se a perdas presentes nos mesmos.

Como apresentado na figura 4.9, em média 78% das perdas que ocorrem em um motor, estão presentes nos motores até 40 cv. Considerando a hipótese da substituição das 17.470.989 unidades destes motores até 40 cv, por motores de alto rendimento, pode-se ter uma redução na coluna “Perda de Energia” para aproximadamente 2,80 TWh, ou seja, apenas 3,68% do total consumido. A economia esperada de energia será de 9,94 TWh, ou seja, aproximadamente 13,07% do total consumido por estes motores.

Tabela 4.5 - Estimativa de energia perdida por faixa de potência de motores na indústria

<i>Faixa de Potência</i>	Consumo (TWh)	Média Geral dos Rendimentos por faixa (%)	Perda de Energia (TWh)	Perda, trocando por Motor de Alto rend. (TWh)	Economia Esperada (TWh)
Até 1 cv	21,0	78,5	4,52	0,99	3,52
Acima de 1 cv até 10 cv	47,0	84,2	7,43	1,63	5,79
Acima de 10 cv até 40 cv	8,0	89,9	0,81	0,18	0,63
Total Geral	76,0		12,75	2,80	9,94

Portanto, a substituição de motores de projeto padrão por motores de alto rendimento nas faixas de potência onde ocorrem os maiores índices de perdas podem contribuir para o uso mais eficiente de energia em sistemas com motores.

Porém, a escolha de um motor de alto rendimento em relação a um motor de projeto padronizado passa, necessariamente, por uma análise de viabilidade econômica. Em termos do benefício energético, um importante fator a ser considerado é o número de horas de operação por ano (PROCEL, 2001).

4.3.1.2 Outros cenários

O procedimento adotado anteriormente toma por base a substituição de todos os motores até 40 cv. Porém esta não é uma situação real. A partir dos valores obtidos pode-se então criar cenários mais adequados, substituindo uma parcela

mais real da população de motores até 40 cv. O resultado obtido será apresentado na tabela que segue:

Tabela 4.6 - Economia de energia esperada, substituindo parcelas do total de motores até 40 cv

1º Cenário: Troca de 100% dos motores até 40 cv					
Faixa de Potência	Consumo (TWh)	Média Geral dos Rendimentos por faixa (%)	Perda de Energia (TWh)	Perda, trocando por Motor de Alto rend. (TWh)	Economia Esperada (TWh)
Até 1 cv	21,0	78,5	4,52	0,99	3,52
Acima de 1 cv até 10 cv	47,0	84,2	7,43	1,63	5,79
Acima de 10 cv até 40 cv	8,0	89,9	0,81	0,18	0,63
Total Geral	76,0		12,75	2,80	9,94
2º Cenário: Troca de 75% dos motores até 40 cv					
Faixa de Potência	Consumo (TWh)	Média Geral dos Rendimentos por faixa (%)	Perda de Energia (TWh)	Perda, trocando por Motor de Alto rend. (TWh)	Economia Esperada (TWh)
Até 1 cv	15,8	78,5	3,39	0,74	2,64
Acima de 1 cv até 10 cv	35,3	84,2	5,57	1,23	4,34
Acima de 10 cv até 40 cv	6,0	89,9	0,61	0,13	0,47
Total Geral	57,0		9,56	2,10	7,46
3º Cenário: Troca de 50% dos motores até 40 cv					
Faixa de Potência	Consumo (TWh)	Média Geral dos Rendimentos por faixa (%)	Perda de Energia (TWh)	Perda, trocando por Motor de Alto rend. (TWh)	Economia Esperada (TWh)
Até 1 cv	12,5	78,5	2,69	0,59	2,10
Acima de 1 cv até 10 cv	23,5	84,2	3,71	0,82	2,90
Acima de 10 cv até 40 cv	4,0	89,9	0,40	0,09	0,32
Total Geral	40,0		6,80	1,50	5,31
4º Cenário: Troca de 25% dos motores até 40 cv					
Faixa de Potência	Consumo (TWh)	Média Geral dos Rendimentos por faixa (%)	Perda de Energia (TWh)	Perda, trocando por Motor de Alto rend. (TWh)	Economia Esperada (TWh)
Até 1 cv	5,3	78,5	1,13	0,25	0,88
Acima de 1 cv até 10 cv	11,8	84,2	1,86	0,41	1,45
Acima de 10 cv até 40 cv	2,0	89,9	0,20	0,04	0,16
Total Geral	19,0		3,19	0,70	2,49

Para os dados apresentados na tabela, verifica-se que com uma substituição de apenas 25% dos motores até 40 cv, pode-se economizar até 2,49 TWh.

Por ano, Itaipu produz 90 TWh, sendo responsável pelo suprimento de 26% da energia elétrica consumida pelo Brasil (Wikipédia, 2005). Para efeito de comparação, a economia esperada de 2,49 TWh, com substituição de 25% dos motores até 40 cv, representa aproximadamente 2,80% do total produzido por Itaipu anualmente.

Itaipu possui 18 unidades geradoras, cada uma produzindo 5 TWh por ano (Itaipu, 2005). Uma unidade geradora de Itaipu possui capacidade para abastecer uma cidade de aproximadamente 1,5 milhões de habitantes, como Curitiba/PR. Portanto, a economia de energia da ordem de 2,49 TWh, pode abastecer uma cidade de aproximadamente 750 mil habitantes, por exemplo, a cidade de São Bernardo do Campo/SP, que possui aproximadamente uma população de 780 mil habitantes (IBGE, 2005).

4.3.2 Bombas e Ventiladores

Os ventiladores e bombas são equipamentos de conversão mecânica usados para atenderem as necessidades de movimento de fluido. Seus rendimentos podem chegar aos 80%, porém a falha de utilização deles (como superdimensionamento por exemplo), seu uso incorreto e a falta de manutenção podem diminuir muito o rendimento (Nadel et al, 2002).

Como apresentado na figura 4.4, aproximadamente 38% do uso de motores na indústria se dá para ventiladores e bombas, representando aproximadamente 29,88 TWh. Além do uso de controles de velocidade variável, a aplicação de ventiladores e bombas mais eficientes e melhores projetos de bombas, têm oferecido oportunidades de economia de energia neste setor.

A figura 4.10 mostra por exemplo, a eficiência de vários tipos de ventiladores, feita pela empresa de consultoria americana *EASTON* em 1996, e apresentado por Nadel et al (2002).

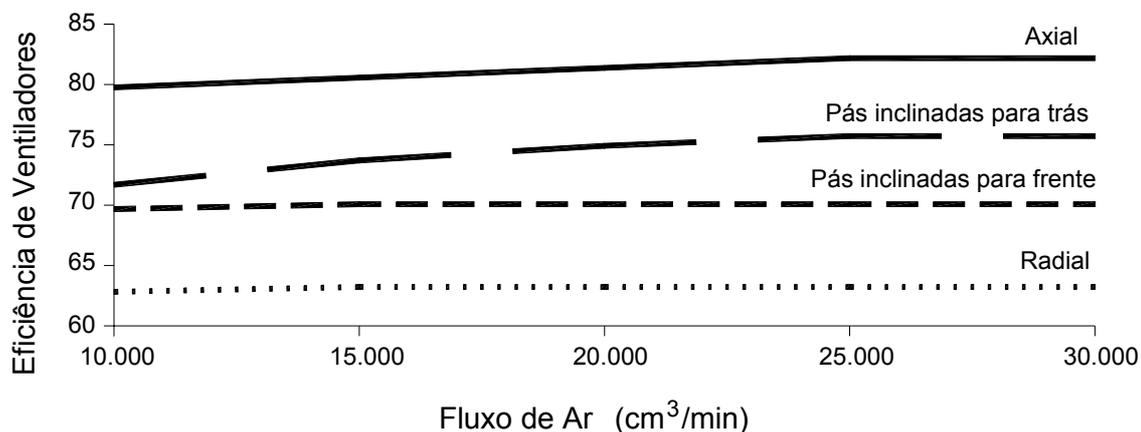


Figura 4.10 – Níveis típicos de eficiência em ventiladores (Nadel et al, 2002)

Segundo a empresa, estima-se que bombas e ventiladores mais eficientes podem economizar de 5 a 15% do uso de energia em aplicações mais típicas. No caso brasileiro, essa economia representaria algo entre 1,5 a 4,5 TWh. Deve-se observar que o valor de 5% se aproxima mais de um cenário aplicável.

Os ventiladores e bombas devem trabalhar em harmonia com o sistema de distribuição de fluídos ao qual pertencem (SENAI. DN., 2002). Alguns passos podem ser seguidos para um melhor aproveitamento destes sistemas:

- 1) Determinar a necessidade de escoamento e atender ao escoamento transportado em tempo e volume;
- 2) Analisar os sistemas de distribuição procurando por caminhos para reduzir o crescimento da resistência;

- 3) Garantir que a bomba ou o ventilador são os corretos para a utilização, e é utilizado próximo as melhores condições, se não, reconsiderar a seleção da bomba ou ventilador;
- 4) Se houver expressiva variação de fluxo de fluído no tempo, deve-se pensar na instalação de um inversor de frequência ou de variadores de velocidade.

4.3.3 Compressores

Ar comprimido é um insumo essencial nas indústrias e possui um custo elevado. Como a eficiência típica de um sistema de ar comprimido varia de 3 a 20%, o custo da energia na forma de ar comprimido pode ser, pelo menos, 5 vezes o custo da energia elétrica (Nadel et al, 2002). Pequenas mudanças no sistema podem oferecer grandes oportunidades de economia com períodos de retorno do investimento relativamente curtos.

Com o alto custo da energia fornecida em forma de ar comprimido, as medidas para reduzir o consumo final são muito importantes. Por isso, a eliminação de vazamentos de ar e a utilização de inversores para o acionamento dos motores elétricos acoplados ao compressor são as prioridades. Os vazamentos podem consumir de 10 a 35% da capacidade do sistema na distribuição do ar. A eliminação dos vazamentos de ar se transforma diretamente em economia de energia elétrica pelo compressor.

Redução nos vazamentos, manutenção adequada ou uso adequado podem economizar de 20 a 30% de energia nestes sistemas. De acordo com a figura 4.4, a aplicação de motores em sistemas com compressores chega a 25%, ou seja, cerca de 19,66 TWh. Considerando-se os percentuais citados acima, pode-se alcançar uma economia entre 3,93 a 5,89 TWh. Mais uma vez, o valor de 5,89 seria em um cenário ideal, não equivalente a realidade. Assim sendo, considera-se como aplicável, uma economia da ordem de 3,93 TWh. Alguns pontos que podem ser atacados nestes sistemas estão citados abaixo:

- Eliminar vazamentos no sistema de distribuição de ar e no ponto de uso:

Um teste simples é verificar se o temporizador do compressor gira quando nenhum ar está sendo usado, isso determinará a magnitude dos vazamentos no sistema. Realizando o teste duas vezes, com ou sem equipamentos conectados, será mostrado o vazamento no ponto de uso.

- Adequar a pressão do sistema de ar comprimido às necessidades do processo:

Qualquer redução na pressão do ar fornecido pelo compressor trará imediatamente economia da energia usada pelo compressor. Por exemplo, ter a certeza de que a pressão fornecida de 105 psi é realmente necessária. Se o sistema estiver apropriadamente ajustado, pode ser possível uma redução de 5-7 psi.

- Restrição do uso de ar comprimido:

Compressores de ar podem ser grandes consumidores de energia. Por essa razão, fazer uma pesquisa sobre onde e como o ar está sendo usado pode ser muito útil. Apenas um inventário pode revelar os desperdícios de energia elétrica – uma pesquisa sobre o uso de ar comprimido pode revelar oportunidades significativas para redução do consumo de ar e, assim, ajudar na economia de energia elétrica.

- Assegurar baixa restrição à entrada de ar, limpando o filtro de ar:

Se não existir resistência na entrada de ar, o compressor exigirá menos energia para comprimir o ar.

- Reduzir a temperatura na entrada do ar, posicionando melhor a entrada de ar:

O ar mais frio é o mais denso e, assim, para cada volume comprimido o compressor oferecerá mais ar. No final, isso vai melhorar a eficiência da compressão, reduzindo o consumo de energia.

- Providenciar controle de ar seqüencial para os compressores:

Em uma instalação com vários compressores, o seqüenciamento dos compressores para melhor responder à demanda de ar comprimido trará um resultado geral de alta eficiência. Esse esquema de controle faria uma tentativa de carregar totalmente os compressores de operação iniciando e encerrando a operação das diversas unidades presentes (SENAI. DN., 2002). Se o processo utilizar pressões diferentes, utilizar compressores com pressões diferentes também trará bons resultados.

Outros Equipamentos

O total de utilização de motores para os demais equipamentos na indústria é de aproximadamente 35%, aproximadamente 27,52 TWh. A seguir serão apresentados alguns itens e o percentual estimado de economia de energia para os mesmos (Nadel et al, 2002).

4.3.4 Aquecimento e Ar Condicionado

Muitas instalações são servidas por diferentes tipos de aquecedores e sistemas de ar condicionado (HVAC) (SENAI. DN., 2002).

Basicamente, os sistemas HVAC são desenvolvidos para a perda ou ganho de calor, e são também destinados ao controle de temperatura, da ventilação e da umidade. Um dos processos que mais consomem energia no HVAC é o fornecimento de ar externo, pois a troca de ar externo é necessária para o conforto humano e para substituir o ar saturado. O potencial de economia para estes sistemas, quando da aplicação de equipamentos mais eficientes e melhoria das condições de uso pode ser de 25 a 40%.

A Associação Americana de Engenheiros de Ar Condicionado, Refrigeração e Calor (The American Society of Heating, Refrigeratin Air Conditioning Engineers – ASHRAE) informa a quantidade de ar puro por pessoa ou por m², dependendo do uso e local. Qualquer valor acima da quantidade recomendada pode ser considerado

excessivo, a menos que haja a necessidade do aumento da taxa de ventilação para remover produtos químicos, odores ou poeira formados pela produção ou pelo equipamento.

A ventilação completa para diluir contaminantes pode ser diminuída substancialmente, ao capturar os contaminantes na fonte usando tampas locais de gás e exaustores.

O uso exagerado de energia nos sistemas HVAC pode ser consequência de vários fatores, segundo SENAI. DN. (2002) tem-se que:

- Um resultado superior/inferior de aquecimento/resfriamento por causa de um ajuste incorreto ou devido a um controle de temperatura errado;
- Ventilação excessiva;
- Aquecimento/resfriamento simultâneo, muitas vezes causado por controles de operação incorretos ou por falhas no desenvolvimento do sistema;
- Controles inadequados para uma grande variedade de situações;
- Necessidade elevada de aquecimento ou refrigeração causados por uma vedação incorreta de janelas, portas, paredes, isolamento do telhado e vazamento na estrutura de ar;
- Estratificação do ar em fábricas com teto alto;
- Baixa manutenção de equipamento: filtros, dutos, canos, umidificadores (exaustores) e lubrificação de partes móveis;
- Baixo controle da produção de efluentes na fonte, tais como, calor, vapor, poeira e umidade, os quais aumentam as cargas do sistema HVAC;

- Tipo e tamanho incorretos do sistema;
- Falta de coordenação no controle central.

4.3.5 Manutenção e rebobinagem de motores:

Através de uma pesquisa realizada pelo PROCEL, para motores com potências de 5, 10 e 15 cv pôde-se verificar a influência da manutenção sobre o desempenho de motores. Para o estudo, foram tomados motores que já estavam em operação, submetidos a todas as intempéries existentes em um ambiente industrial. Os mesmos foram submetidos a queima por sobrecarga, pois esta é uma das causas mais comuns de estragos na indústria. Antes e após os reparos, esses motores foram testados, diagnosticando assim suas condições de trabalho. As tabelas com os resultados dos ensaios podem ser observados nas tabelas 4.7 e 4.8 (Bortoni et al, 1999).

Nestas tabelas têm-se a resistência do estator referida a 75°C (R75), as perdas por atrito e ventilação (PAV), as perdas por histerese, Foucault e perdas adicionais (PHF+PAD), as perdas por efeito Joule no estator (PJE) e no rotor (PJR), e a elevação de temperatura com carga nominal ($\Delta\theta$). As perdas são expressas em kW e a elevação de temperatura em graus Celsius.

Tabela 4.7 – Resultados dos ensaios antes da queima e manutenção dos motores (Bortoni et al, 1999)

Motor	P	R ₇₅	P _{AV}	P _{HF+PAD}	P _{JE}	P _{JR}	$\Delta\phi$	η_{100}	I ₁₀₀	I ₀	η_{50}	η_{75}	η_{100}
1	5	1,369	0,042	0,573	0,294	0,139	82	1737	14,7	7,46	77,1	79,6	80,1
2	10	1,654	0,045	0,328	0,335	0,173	70	1721	14,3	7,28	78,8	81,7	80,7
3	10	0,56	0,059	0,484	0,411	0,179	75	1759	27,1	10,2	82,3	84,7	84,7
4	10	0,554	0,093	0,455	0,407	0,138	69	1767	27,1	13,3	84,4	86,7	86,8
5	10	0,561	0,036	0,402	0,402	0,177	73	1759	26,8	12,0	84,9	86,5	86,3
6	10	0,596	0,142	0,419	0,455	0,196	86	1756	30,2	14,1	78,3	81,5	81,4
7	15	0,298	0,104	0,778	0,501	0,024	76	1768	41,0	17,0	84,0	86,1	86,3
8	15	0,372	0,046	0,56	0,567	0,286	80	1755	39,0	16,9	86,0	87,2	86,8

Tabela 4.8 – Resultados dos ensaios após a manutenção dos motores (Bortoni et al, 1999)

Motor	P	R ₇₅	P _{AV}	P _{HF} +P _{AD}	P _{JE}	P _{JR}	Δφ	n ₁₀₀	I ₁₀₀	I ₀	η ₅₀	η ₇₅	η ₁₀₀
1	5	1,298	0,041	0,351	0,279	0,128	76	1741	14,7	7,39	79,0	81,7	82,1
2	10	1,443	0,061	0,351	0,298	0,179	72	1719	14,3	7,39	78,3	80,9	80,8
3	10	0,49	0,056	0,485	0,357	0,164	71	1762	27,0	10,4	83,1	85,4	85,5
4	10	0,575	0,049	0,444	0,413	0,122	65	1771	26,8	13,4	85,2	87,5	87,5
5	10	0,554	0,023	0,403	0,393	0,174	61	1760	26,6	11,8	84,4	86,2	86,3
6	10	0,581	0,084	0,455	0,528	0,193	91	1760	26,6	11,8	79,3	81,9	81,7
7	15	0,368	0,08	0,725	0,643	0,204	97	1769	41,8	17,0	83,6	85,6	85,4
8	15	0,362	0,0319	0,496	0,555	0,316	71	1751	39,1	16,6	85,4	86,9	86,5

A principal característica que se altera nas manutenções é uma notável variação na resistência dos enrolamentos do estator e, por conseguinte, alteração das perdas por efeito Joule. Essa variação pode ocorrer, por exemplo, porque a oficina onde foi realizada a manutenção mesmo que utilize um fio de mesma bitola que a do fabricante, pode utilizar materiais de qualidade, por exemplo, diferente que do fabricante, ou por diferenças entre o processo de montagem das bobinas, que é feito em muitos dos casos manualmente na manutenção. Esses fatores além de alterar a resistência do motor, podem inclusive mudar outras características do mesmo.

Na figura 4.11, pode-se observar o aumento médio no rendimento dos motores, para o ponto de carregamento 100%, após a manutenção. A variação da resistência do estator e a variação das perdas por atrito e ventilação, decorrentes da troca de rolamento, limpeza e lubrificação são fatores predominantes sobre o resultado do rendimento após a manutenção.

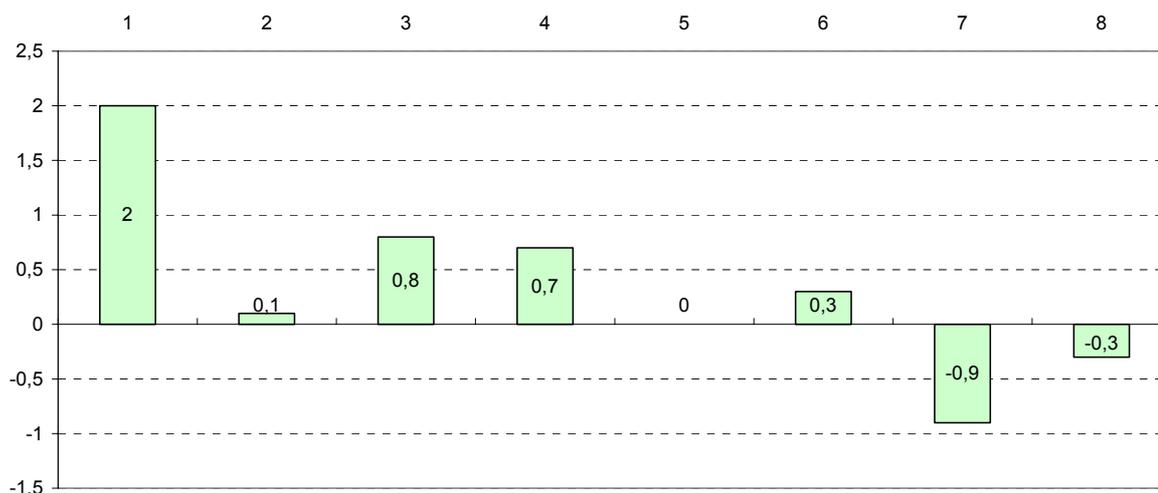


Figura 4.11 – Variação de η_{100} em pontos % (Bortoni et al, 1999)

A decisão entre reparar ou substituir um motor pode ser tomada comparando-se os custos da manutenção, aquisição e operação do motor novo ou recondicionado. A variável mais importante desta análise, e também com o maior nível de incerteza é o rendimento do motor após sua reforma. Uma pequena redução do mesmo pode ser admitida, uma vez que este fato será recompensado pelo custo reduzido da manutenção em relação ao custo de um motor novo. Uma regra geral é que o custo da manutenção não deve exceder 60% do custo do motor novo (Bortoni et al, 1999).

Um estudo americano mostra, entretanto, que técnicas de rebobinagem de motores, que trabalham em altas temperaturas ($\sim 315^{\circ}\text{C}$) podem danificar o núcleo dos motores e causar problemas de redução da sua eficiência. Estima-se que as perdas de energia em motores rebobinados seja de 1% do total de energia consumido em sistemas com motores (Nadel et al, 2002).

Considerando este valor para o mercado brasileiro de motores, tem-se aproximadamente 786,4 GWh.

Substituir o estoque de motores rebobinados de maneira incorreta por motores que atendam os padrões de eficiência mínima exigidos pela regulamentação brasileira também é uma boa alternativa para se economizar energia.

O que se observa é que a manutenção quando feita de maneira correta, em uma oficina de qualidade, em termos de procedimento, material e equipamentos empregados no reparo do motor contribuem para a aplicação eficiente do mesmo, apresentando em alguns casos, aumento do rendimento da máquina. Na pesquisa realizada pela equipe técnica do PROCEL, verificou-se também uma redução das perdas por atrito e ventilação após o reparo, que pode ser devido a limpeza e lubrificação executadas durante a manutenção. Como essa é uma medida de baixo custo, pode ser aplicada em larga escala pela indústria para reduzir o consumo de energia elétrica.

4.3.6 Otimização do dimensionamento do motor

Uma das causas mais comuns de operação ineficiente dos motores elétricos é o superdimensionamento, ou seja, o motor possui potência nominal muito superior a potência solicitada pela carga mecânica. Algumas das razões que podem gerar um superdimensionamento de um motor (ELETROBRÁS, 2000) são:

- Desconhecimento das características da carga;
- Desconhecimento de métodos para um dimensionamento mais adequado;
- Aplicação de sucessivos fatores de segurança nas várias etapas do projeto;
- Expectativa de futuro aumento de carga;
- A não especificação de motores com fator de serviço maior do que 1, que podem atender a cargas que apresentam picos esporádicos;
- Permitir margem de segurança para a operação de processos vitais;
- Substituição de um motor danificado por outro de potência imediatamente maior quando, por exemplo, falta no estoque um de potência mais adequada;
- Redução da produção.

Este superdimensionamento pode trazer conseqüências desagradáveis, como por exemplo:

- Maiores custos, volume e peso do motor;
- Redução do fator de potência;
- Redução do rendimento, embora muitos motores apresentem seu rendimento máximo a aproximadamente 75% da sua carga nominal;
- Maior corrente de partida.

Quando um motor vai ser substituído, pode-se fazer um redimensionamento do mesmo. Um estudo recente prevê que 44% dos motores acima de 1 cv estão operando abaixo ou em até 40% de carregamento. Este superdimensionamento pode causar, em média, 5% de penalidade na eficiência (Nadel et al, 2002).

Como mencionado anteriormente, os motores até 40 cv estão em maior quantidade no mercado brasileiro, e apresentam os maiores percentuais de perdas. Já os motores maiores são mais caros, e como citado no estudo de caso alemão (Cap. 3), tendem a não estar sobredimensionados.

A tabela 4.9 apresenta o consumo global dos motores maiores que 1 cv. O consumo dos motores desde 1 até 40 representa 55 TWh. Considerando que 44% destes motores estão sobredimensionados, 24,2 TWh representam o consumo destes motores sobredimensionados. Como estes motores consomem 5% a mais, devido a penalidade em seu rendimento, conclui-se 1,21 TWh são consumidos desnecessariamente, devido ao sobredimensionamento. Mais uma vez, pode-se imaginar um cenário para a troca destes motores, como apresentado na tabela 4.10

Tabela 4.9 – Consumo dos motores de 1 até 300 cv

Faixa de Potência	Consumo (TWh)
Acima de 1 cv até 10 cv	47,0
Acima de 10 cv até 40 cv	8,0
Acima de 40 cv até 100 cv	1,15
Acima de 100 cv até 300 cv	0,05
Total Geral	55,1

Tabela 4.10 – Cenário para troca de motores sobredimensionados

<i>Consumo Total dos motores de 1 até 40cv</i>	55 TWh
<i>Consumo dos 44% sobredimensionados</i>	24,2 TWh
Aplicando a penalidade de 5%	1,21 TWh
Trocando 100% dos motores sobredimensionados	Economia de 1,21 TWh , ou seja 5% do consumo dos motores sobredimensionados de 1 a 40 cv
Trocando 75% dos motores sobredimensionados	Economia de 0,9 TWh , ou seja 3,7% do consumo dos motores sobredimensionados de 1 a 40 cv
Trocando 50% dos motores sobredimensionados	Economia de 0,6 TWh , ou seja 2,5% do consumo dos motores sobredimensionados de 1 a 40 cv
Trocando 25% dos motores sobredimensionados	Economia de 0,3 TWh , ou seja 1,2% do consumo dos motores sobredimensionados de 1 a 40 cv

Comparando mais uma vez, uma economia de 0,3 TWh com o total produzido por Itaipu anualmente (Itaipu,2005), tem-se o percentual de 0,3%, ou seja, se apenas 25% dos motores de 1 a 40 cv forem substituídos, por motores de carregamento adequado, o percentual de energia economizado é suficiente para abastecer uma cidade de aproximadamente 75 mil habitantes, por exemplo a cidade de Alfenas/MG (IBGE, 2005).

Em termos de uso eficiente de energia, o aspecto do superdimensionamento deve levar a uma análise técnica e econômica. Um estudo realizado pelo convênio PROCEL/CEMIG/UNIFEI mostra que nem sempre o superdimensionamento corresponde a maiores perdas de energia. Por exemplo:

O estudo mostrou que um motor de 15 cv, acionando uma carga de somente 3 cv, apresentou um corrente 87,7% maior, um rendimento 7,95% menor e um fator de potência 48,51% menor do que um motor de potência nominal 3 cv acionando a mesma carga, resultado que já era previsível. No entanto, este mesmo motor de 15 cv acionando uma carga de 10 cv, apresentou melhor rendimento e menor solicitação de corrente do que um motor de potência nominal de 10 cv.

Verifica-se então que, embora o superdimensionamento corresponda a uma redução do rendimento, cada caso deve ser analisado, pois, nem sempre, isto será verdade. Em geral, para cargas entre 100 e 75% da nominal, o motor pode ser considerado estando bem dimensionado (ELETROBRÁS, 2000). A análise do carregamento pode ser feita, por exemplo, através dos métodos citados no capítulo 2.

4.3.7 Controle de velocidade de motores

O potencial de economia em sistemas de controle de velocidade pode ser bem elevado. Em muitos processos, a carga varia o tempo todo, e o uso de dispositivos de controle de velocidade eletrônicos oferecem grandes possibilidades de economia.

O uso de ASDs (Adjustable-speed drive), tornou-se popular nas indústrias e possui grande aplicação em instalações HVAC, (sistemas de ar condicionado, aquecimento e ventilação). Os controles aplicados a motores também são úteis no sentido de se reduzir o fluxo e conjugado, e conseqüentemente demanda de potência, quando da operação em baixas cargas. O uso de controle de velocidade em bombas e ventiladores centrífugos em substituição ao controle de vazão por válvulas e dampers resultam em grande economia de energia, visto que tais métodos trabalham diminuindo as perdas destes equipamentos, que contam com mais de 70% dos usos finais em aplicações com motores (Nadel et al, 2002).

Estudos mostram um potencial de economia de 15 a 30%. Aplicável em 1/3 a 2/3 de ventiladores, bombas e equipamentos HVAC (Nadel et al, 2002).

4.3.8 Outros controles

Em adição aos ASDs, existem muitos outros tipos de controles que podem ser utilizados para reduzir o uso de energia em sistemas com motores. Por exemplo, controles microprocessados que podem monitorar múltiplos sistemas variáveis para reduzir o uso de energia substancialmente. Da mesma forma, o controle do fator de potência pode oferecer uma economia de energia acima de 10% em algumas aplicações (15 HP ou menos) com motores para trabalhar a maioria do tempo sem carga ou com pouca carga. Existem sistemas, entretanto, que são projetados para trabalhar especificamente com ar comprimido. Além disso, sistemas gerenciadores de energia e outros controles podem ser utilizados em HVAC, reduzindo a energia em 10% ou mais, em aplicações típicas. Entretanto, muitos destes controles são de aplicação subjetiva (SENAI. DN, 2002).

4.4 Potencial de economia brasileiro

Assim como nos outros países, o Brasil necessita da energia elétrica para seu crescimento econômico. Através do levantamento feito pelo Balanço Energético Nacional 2004 (Ano Base 2003), percebe-se que a energia consumida pela indústria tem valor significativo no consumo global do país, cerca de 49% do total consumido.

O número de motores instalados na indústria, segundo dados da ABINEE, oferece um bom potencial para que se possa economizar energia, otimizando os processos que envolvam motores, uma vez que, os motores de menos de 1 até 40 cv, que representam 97% do total de motores instalados no país, representam aproximadamente 23% do consumo total de energia elétrica, cerca de 76 TWh.

Com base na experiência das medidas adotadas por outros países no uso eficiente da energia elétrica, como a utilização de motores mais eficientes, melhoria de processos de manutenção, melhorias dos equipamentos que envolvem motores, otimização do dimensionamento do motor, utilização de dispositivos para

acionamentos eletrônicos, e da observação dos pontos previstos na política nacional de conservação e uso racional de energia, como o estabelecimento dos níveis mínimos de eficiência para motores e processos de etiquetagem, a tabela 4.11 apresenta o potencial econômico previsto para cada ação que se pode desenvolver com motores ou sistemas que envolvam o mesmo.

Tabela 4.11 – Potencial econômico para motores e sistemas com motores

Motores de Indução Trifásicos até 600 V	Percentual Econômico Previsto (%)	Economia (TWh/ano)	Notas
Ação			
Substituir 25% dos motores de projeto padrão por motores de alto rendimento	3 a 13	2,49	Aplica-se a motores de menos de 1 a 40 cv, considerando a média geral dos rendimentos por faixa. Nestes motores ocorrem 78% das perdas previstas para motores. Os mesmos ocupam cerca de 97% do mercado brasileiro de motores
Substituir 50% dos motores de projeto padrão por motores de alto rendimento		5,31	
Substituir 75% dos motores de projeto padrão por motores de alto rendimento		7,46	
Substituir todos os motores de projeto padrão por motores de alto rendimento		9,94	
Utilização de Bombas e ventiladores mais eficientes	5 a 15	1,5 a 4,5	Cerca de 38% da aplicação de motores na indústria.
Compressores de ar e equipamentos eficientes	20 a 30	3,93 a 5,89	Cerca de 25% da aplicação de motores na indústria
Outros Equipamentos			
Atuar em Sistemas de Aquecimento e Ar condicionado	25 a 40	*	Com a aplicação de equipamentos mais eficientes e melhoria das condições de uso
Substituir motores reconicionados	1	0,78	Substituir por motores que atendam os padrões mínimos de eficiência exigidos pela regulamentação
Substituir 25% dos motores superdimensionados	1,2 a 5	0,3	Motores acima de 1 cv até 40 cv. Cerca de 44% destes motores operam com 40% de carga, diminuindo sua eficiência em 5%
Substituir 50% dos motores superdimensionados		0,6	
Substituir 75% dos motores superdimensionados		0,9	
Substituir todos os motores superdimensionados		1,21	
Utilizar sistemas de controle de velocidade (ASDs)	15 a 30	3 a 6	Aplicavel em 1/3 a 2/3 de ventiladores, bombas e equipamentos HVAC (O consumo total deste setor é de aproximadamente 29,88 TWh)

* Obs: Não se pôde prever a economia esperada em TWh, pois não se estimou o consumo deste setor.

De acordo com os dados da tabela 4.11, o potencial econômico para a indústria brasileira na efficientização de sistemas que envolvam motores de indução trifásicos pode ser estimado de 15,25% a 36%.

Estes valores estão entre vários cenários possíveis e são obtidos somando-se os valores mínimos e máximos de economia de energia, respectivamente, previstos na tabela 4.11 e dividindo-se pelo total consumido na indústria para motores, ou seja, 78,64 TWh . Para exemplificar, com uma substituição de todos os motores de projeto padrão por motores de alto rendimento, a substituição de todos os motores que possam estar superdimensionados, utilização de bombas e ventiladores com a maior eficiência possível, e a utilização de sistemas ASD mais eficientes, pode-se chegar a economia de 28,32 TWh/ano, ou seja, aproximadamente 36% do total gasto com motores na indústria. Embora este seja um valor elevado, os gastos envolvidos para se alcançar tamanha economia pode não compensar a aplicação de todas as ações.

Em um cenário mais aceitável, com uma substituição parcial dos motores de projeto padrão por motores de alto rendimento, uma substituição proporcional dos motores superdimensionados e outras ações com perspectiva econômica mais realista, pode-se chegar a economia de 12 TWh/ano, cerca de 15,25% do total gasto com motores na indústria.

Os valores acima mencionados estão apresentados na tabela 4.12 de forma resumida

Tabela 4.12 – Potencial de conservação de energia em motores elétricos no Brasil

Utilização de Energia Elétrica	Consumo por setor TWh/ano	Percentual do total utilizado no país	Notas
Brasil	341,9	100%	
Indústria	160,4	47%	
Motores	78,64	23%	
Economia mínima prevista	12	3,5%	Cerca de 15,25% do total utilizado na indústria. Ações que podem ser implementadas de acordo os itens da tabela 4 considerando os valores mínimos de percentual econômico.
Economia máxima prevista	28,32	8,3%	Cerca de 36% do total utilizado na indústria. Valor elevado, porém não leva em conta os custos associados ao se adotar os valores máximo de percentual econômico da tabela 4.

Pelos dados apresentados, o potencial de economia de conservação de energia em motores elétricos no Brasil pode ser estimado entre 3,5 e 8,3%.

Este potencial pode ser visto como um recurso energético adicional, pois a energia não consumida pode vir a ser utilizada para algum fim útil. De outra forma, essa economia também pode representar uma aplicação dos recursos financeiros economizados em outros setores das indústrias, como por exemplo, aquisição de novas tecnologias.

Capítulo 5

5.1 Conclusão

Os programas e medidas adotados por vários países do mundo sugerem a utilização de medidas institucionais e organizacionais, disseminação de conhecimentos através de treinamentos, informações, pesquisas, desenvolvimento de novas tecnologias, regulação e acordos voluntários, políticas tarifárias, incentivos econômicos e outros.

Em todos os casos, nota-se que o primeiro passo para o uso eficiente de energia se deu pelo estabelecimento de uma política ou programa de conservação de energia, visando desenvolver ações de eficiência energética.

O PROCEL, instituído desde 1985 e implantado no ano seguinte, foi o primeiro programa sistemático de governo que atentou para a conservação e uso racional de energia elétrica. Os primeiros passos tomados foram na identificação das oportunidades de conservação de energia. A partir de então o PROCEL desenvolve projetos nas mais diversas áreas, atentando para conservação de energia elétrica, tanto no lado da produção quanto no lado do consumo.

A partir da criação da lei 10295 e seus decretos regulamentadores, passa a existir no Brasil um importante mecanismo de aplicação e aprimoramento de tecnologias mais eficientes. O decreto 4.508 de 11 de dezembro de 2002 estabelece a regulamentação específica dos níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução, tipo rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importado, para comercialização ou uso no Brasil, incluindo tanto os motores comercializados isoladamente quanto os que fazem parte de outros equipamentos.

Os programas de eficiência energética adotados nos outros países têm, além de uma sólida base tecnológica, um olhar voltado para as necessidades de

mercado. Desta maneira, a economia de energia em sistemas que envolvem motores pode ser atrativa para a identificação de pontos econômicos na indústria brasileira, uma vez que os motores de indução trifásicos constituem-se como um grande potencial na eficiência energética, pois representam cerca de 23% do consumo global de energia no país.

Várias são as formas de se utilizar energia de forma racional em motores dentro de ambientes industriais.

A partir dos valores apresentados na tabela 4.11, pode-se constatar que a substituição de motores de projeto padrão por motores de alta eficiência representa realmente uma boa opção de economia de energia.

Como apresentado no capítulo 4, com substituição de apenas 25% dos motores até 40 cv, pode-se economizar energia suficiente para abastecer uma cidade de 750 mil habitantes, como por exemplo, São Bernardo do Campo/SP.

Porém, esta substituição deve antes passar por uma análise econômica criteriosa. Antes de se considerar a substituição de um motor, podem ser analisadas outras opções que também, conforme mostrado na tabela apresentam um bom potencial econômico. A carga movida por um motor também oferece uma boa oportunidade para economia, como por exemplo, bombas, ventiladores, compressores, sistemas de ar refrigerado e outros.

Ações voltadas para uma boa manutenção também pode trazer benefícios, uma vez que, uma simples limpeza do motor pode fazer com que o mesmo trabalhe com menos aquecimento, aumentando sua durabilidade. Porém, é importante que a manutenção seja feita de maneira adequada, principalmente quando o motor passar por uma situação de rebobinagem.

O capítulo II faz uma apresentação dos métodos normalizados e os métodos expeditos para a análise do carregamento de um motor. Um motor trabalhando de forma sobredimensionada também oferece potencial para economia de energia.

A substituição de 25% dos motores sobredimensionados, pode economizar energia suficiente para abastecer uma cidade de aproximadamente 75 mil habitantes, como por exemplo, Alfenas/MG.

O sucesso promovido por equipamentos de alta eficiência, de fato, requerem uma estratégia integrada combinando elementos de testes, etiquetagem, clientes, programas educacionais, fabricantes, incentivos financeiros e em alguns casos um padrão mínimo de eficiência. Nota-se pela experiência Internacional que, quando um destes elementos é tratado de forma isolada, os impactos para o mercado são geralmente limitados.

Assim, o uso eficiente de energia em sistemas que envolvam motores pode se dar através da melhoria das características operacionais da máquina ou da substituição do mesmo por outro mais eficiente, que atenda aos níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética com base na política nacional de conservação e uso racional de energia.

Para que este estudo se tornasse viável, adotou-se o Balanço Energético Nacional 2004 (Ano Base 2003) como representativo do consumo de energia elétrica no Brasil. A população de motores foi estimada com dados da ABINEE e através de um estudo de vida útil para motores elétricos americano, na falta de um estudo relativo à vida útil dos motores brasileiros.

A partir destes valores, pôde-se com base em dados das referências bibliográficas (como o uso de motores na indústria por setor), estimar o percentual econômico previsto para cada ação, como por exemplo, a substituição de motores de projeto padrão por motores de alta eficiência.

Considerando-se os valores mínimos e máximos de percentual econômico previsto para cada ação envolvendo motores, pôde-se então estimar o percentual econômico para a indústria brasileira, que está entre 15,25 a 36%, do total consumido pela indústria para uso em motores de indução trifásicos até 600 V. Isso representa que, para um consumo industrial de 78,64 TWh, pode-se economizar de

12 a 28,32 TWh/ano, sendo que este último valor pode envolver custos elevados não estimados, podendo não se tornar tão expressivo. O potencial de conservação de energia em motores elétricos no Brasil, a partir dos dados mencionados está entre 3,5 a 8,3%. Apenas para efeito de comparação, uma economia de 12 TWh corresponde a aproximadamente 13,3% do total de energia produzido por Itaipu em um ano.

Embora o presente trabalho faça uma estimativa de potencial de economia de energia para a indústria brasileira, não esgota o assunto. Ele pode ser complementado levando em consideração entre outros, os aspectos a seguir, que podem constituir-se como novos temas de trabalho, estudo, reflexão e pesquisas:

- Realização de um estudo que estime a vida útil de motores para o mercado brasileiro;
- Criação de programas computacionais com os métodos de análise de carregamento de motores, a fim de torná-los mais fáceis de se utilizar e visualizar;
- Estudos dos percentuais de economia de energia em sistemas que envolvem motores mais ajustados a realidade das indústrias brasileiras;
- Estudos mais detalhados sobre as condições de uso de motores nas indústrias brasileiras, como por exemplo, índice de motores rebobinados;
- Estudos com análise econômica para as ações apresentadas na tabela 4.10, mostrando quais ações representam maiores ganhos energéticos e econômicos;
- Estudos atualizados ano a ano das mudanças ocorridas no setor.

E por fim, estudos mais avançados das experiências internacionais, observando aqueles pontos de melhores resultados, adequando-os quando possível à realidade brasileira.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LEONHARD, W. (eds), 1997.; *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p.
- ANDREAS, J. C., 1982.; *Energy efficient electric motors - Selection and applications*. Marcel Dekker Inc., NY.
- BEN, 2004.; *BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2004 (ANO BASE 2003)*.
[On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: www.mme.gov.br.
Data de acesso: 05/02/2005.
- BORTONI, E. C.; HADDAD, J.; SANTOS, A.H.M. et al., 1999.; *Análise do reparo de motores de Indução trifásicos*. Seminário Nacional de Produção e transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE.
- BORTONI, E. C., 2004.; *Acionamento com motores de indução trifásicos*. DIEE - Disseminação de Informações sobre Eficiência Energética. PNUD/FUPAI/EFFICIENTIA.
- BORTONI, E. C.; RORIS FILHO, A.; TANAKA, E.T., 1992.; *Análise de Carregamento de Motores e Conservação de Energia*. Quadrante Softwares Especializados Ltda. Itajubá.
- COGAN, D., 1997.; *Energy of Electric Motors and Drives: Australian and New Zealand Programmes*. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds).; *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p. p. 408 - 417.

DAVID, A. et al., 1997.; *Calculation of Energy Savings from Drives: The French Demand Side Management Approach*. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds).; *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p. p. 419 - 431.

DECRETO 4508, de 11 de dezembro de 2002. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: www.senado.gov.br.

Data de acesso: 10/07/2003.

DICIONÁRIO MICHAELIS, 2004. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: www2.uol.com.br/michaelis

Data de acesso: 20/11/2004.

ELETROBRÁS, 2000.; *Guia operacional de motores elétricos: versão 2000* / equipe Heloi José Fernandes Moreira et al. - Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 161 p.

FALKER, H., 1997.; *Energy Efficiency Improvements in Motors and Drives: United Kingdom Programmes*. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds).; *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p. p. 448 - 451.

GELLER, H; 1994; *O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Eficiência Energética.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005; *Indicadores Sociais Municipais*. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico:

www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/default.shtm

Data de acesso: 10/10/2005

IEEE, 1996.; IEEE std 112. *Test procedure for polyphase induction motors and generators*.

- INMETRO, 2003.; *Eficiência energética - Leis, Documentos e Contatos*. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico:
www.inmetro.gov.br/qualidade/regMotores.pdf
Data de acesso: 10/07/2003b.
- INMETRO, 2003.; *Tabelas de consumo/eficiência energética*. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp.
Data de acesso: 10/07/2003a.
- ITAIPU BINACIONAL, 2005; *A maior Hidroelétrica do Mundo*. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: www.itaipu.gov.br
Data de acesso: 10/10/2005
- LITTLE, A. D. (ADL), 1980.; *Classification and Evaluation of Electric Motors and Pumps*. Springfield, VA: National Technical information Administration.
- NADEL, S. et al., 2002.; *Energy-Efficient Motors Systems: A Handbook on Technology, Program and Policy Opportunities*. 2nd ed. Washington, D.C. Editora ACEEE, 2002. 494 p.
- NADEL, S. et al., 1997.; *Overview of Programmes to promote Energy Efficient Motor System in the United States*. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds.); *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p. p. 365 - 376.
- NEUBAUER, R. et al., 1997.; RAVEL - *The Swiss Energy Programme: Information and Training in Efficient Drives and Energy Saving*. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds.); *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p. p. 439 - 447.
- PROCEL, 2001.; *Conservação de Energia: eficiência de instalações e equipamentos*. 2 ed. Itajubá, MG. Editora da EFEI, 467 p.

PBE, 2004.; *PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM*. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp. Data de acesso: 20/12/2004.

RISE, S., 1997.; *The Danish High Efficiency Motor Campaign 1996-1998*. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds); *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p. p. 452 - 463.

RUSSO, S., 1997.; *Italian Programs*. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds); *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*. Alemanha. Springer, 551 p. p. 432 - 438.

SÁ, J. S., 1998.; *Obtenção do circuito equivalente do motor de indução trifásico a partir de dados de fabricantes*. IV Seminário interno de pesquisa da EFEI.

SENAI. DN., 2002.; *Capacitação de empreendedores na área de serviços de eletricidade. Micro, pequenas e médias empresas; eficiência energética*. Brasília, 103 p.

TABOSA, R.P.; SOARES, G. A.; SHINDO, R., 1998.; *Motor de Alto Rendimento*. Editado por ELETROBRÁS/PROCEL & CEPEL. Agosto.

WIKIPÉDIA, *A enciclopédia livre*, 2005; Usina Hidrelétrica de Itaipu. [On-line] Disponível na Internet no endereço eletrônico: www.wikipedia.org
Data de acesso: 10/10/2005.

**ANEXO I – TABELAS COM RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA
PARA ALGUNS FABRICANTES DE MOTORES.**

Tabela 1A – Motores Kohlbach-Siemens (INMETRO, 2003a)

POTÊNCIA		STANDARD							
		KOHLBACH - SIEMENS							
		II Polos		IV Polos		VI Polos		VIII Polos	
kW	cv	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA
0,75	1,0	77,0	0,84	78,0	0,69	73,0	0,68	66,0	0,60
1,10	1,5	78,5	0,87	79,0	0,72	75,0	0,69	73,5	0,60
1,50	2,0	81,0	0,82	81,5	0,81	77,0	0,70	77,0	0,63
2,20	3,0	81,5	0,87	83,0	0,82	78,5	0,69	78,0	0,64
3,00	4,0	82,5	0,87	83,0	0,81	81,0	0,71	79,0	0,61
3,70	5,0	85,5	0,86	85,1	0,78	83,5	0,79	90,0	0,72
4,50	6,0	85,1	0,9	85,5	0,81	84,0	0,75	92,0	0,61
5,50	7,5	86,0	0,89	87,0	0,81	85,0	0,79	84,0	0,67
7,50	10,0	87,5	0,9	87,5	0,83	86,0	0,79	85,0	0,68
9,00	12,5	87,5	0,93	87,5	0,87	87,5	0,76	86,0	0,74
11,00	15,0	87,5	0,91	88,5	0,86	89,0	0,79	87,5	0,77
15,00	20,0	88,5	0,91	90,2	0,87	89,5	0,79	88,5	0,74
18,50	25,0	89,5	0,9	90,5	0,87	90,2	0,84	88,5	0,76
22,00	30,0	89,5	0,87	91,0	0,86	91,0	0,86	90,2	0,73
30,00	40,0	90,2	0,92	91,7	0,87	91,7	0,82	90,2	0,75
37,00	50,0	91,5	0,92	92,4	0,89	91,7	0,81	91,0	0,77
45,00	60,0	91,7	0,87	93,0	0,90	91,7	0,86	91,0	0,79
55,00	75,0	92,4	0,89	93,0	0,91	92,1	0,87	91,5	0,79
75,00	100,0	93,0	0,88	93,2	0,91	93,0	0,87	92,0	0,81
90,00	125,0	93,0	0,9	93,2	0,91	93,0	0,86	92,5	0,82
110,00	150,0	93,0	0,9	93,5	0,91	94,1	0,85	92,5	0,82
130,00	175,0	93,5	0,9	94,1	0,87	94,1	0,85		
150,00	200,0	94,1	0,9	94,5	0,87	94,1	0,85		
185,00	250,0	94,1	0,91	94,5	0,88				

POTÊNCIA		ALTO RENDIMENTO							
		KOHLBACH - SIEMENS							
		II Polos		IV Polos		VI Polos		VIII Polos	
kW	cv	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA
0,75	1,0	80,1	0,81	82,7	0,68	80,0	0,63	70,0	0,60
1,10	1,5	82,5	0,87	81,5	0,68	77,0	0,68	77,0	0,60
1,50	2,0	84,0	0,84	84,2	0,76	83,0	0,65	82,5	0,61
2,20	3,0	85,1	0,86	85,1	0,79	83,0	0,69	84,0	0,61
3,00	4,0	85,1	0,92	86,0	0,79	85,0	0,71	84,5	0,62
3,70	5,0	87,6	0,85	87,5	0,78	87,5	0,73	85,5	0,62
4,50	6,0	88,0	0,9	88,5	0,81	87,5	0,75	85,5	0,62
5,50	7,5	88,8	0,85	89,5	0,81	88,0	0,71	85,5	0,62
7,50	10,0	89,5	0,9	90,0	0,83	88,5	0,74	88,5	0,66
9,00	12,5	89,5	0,90	90,0	0,82	88,5	0,76	88,5	0,74
11,00	15,0	90,2	0,88	91,0	0,82	90,2	0,77	88,5	0,74
15,00	20,0	90,2	0,85	91,0	0,87	90,2	0,79	89,5	0,81
18,50	25,0	91,0	0,9	92,4	0,89	91,7	0,82	89,5	0,76
22,00	30,0	91,0	0,90	92,4	0,85	91,7	0,81	91,0	0,73
30,00	40,0	91,7	0,92	93,0	0,88	93,0	0,78	91,0	0,75
37,00	50,0	92,4	0,92	93,0	0,90	93,0	0,80	91,7	0,77
45,00	60,0	93,0	0,94	93,6	0,89	93,6	0,86	91,7	0,78
55,00	75,0	93,0	0,94	94,1	0,90	93,6	0,87	93,0	0,78
75,00	100,0	93,6	0,94	94,5	0,90	94,1	0,87	93,0	0,80
90,00	125,0	94,5	0,9	94,5	0,90	94,1	0,86	93,6	0,82
110,00	150,0	94,5	0,9	95,0	0,90	95,0	0,85	93,6	0,82
130,00	175,0	94,7	0,9	95,0	0,86	95,0	0,85		
150,00	200,0	95,0	0,9	95,0	0,86	95,0	0,85		
185,00	250,0	95,4	0,91	95,0	0,87				

Tabela 1B – Motores WEG (INMETRO, 2003a)

STANDARD									
POTÊNCIA		WEG							
		II Polos		IV Polos		VI Polos		VIII Polos	
kW	cv	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA						
0,75	1,0	77,0	0,83	79,5	0,82	74,5	0,7	66,0	0,68
1,10	1,5	78,5	0,86	79,5	0,82	75,0	0,7	73,5	0,62
1,50	2,0	81,0	0,89	82,5	0,78	78,0	0,7	79,0	0,66
2,20	3,0	81,5	0,84	83,0	0,80	78,5	0,72	80,0	0,74
3,00	4,0	83,0	0,86	83,0	0,80	81,0	0,76	81,3	0,72
3,70	5,0	85,6	0,88	85,5	0,81	84,0	0,75	83,0	0,73
4,50	6,0	85,0	0,88	85,5	0,84	84,0	0,75	84,5	0,72
5,50	7,5	86,7	0,87	88,0	0,82	85,0	0,77	86,0	0,71
7,50	10,0	87,6	0,88	89,0	0,83	86,3	0,75	87,5	0,72
9,00	12,5	87,5	0,88	88,5	0,82	88,0	0,82	88,0	0,82
11,00	15,0	87,8	0,89	88,5	0,83	89,5	0,8	88,5	0,83
15,00	20,0	89,0	0,88	90,2	0,83	89,5	0,78	89,5	0,83
18,50	25,0	89,5	0,88	91,0	0,83	90,2	0,9	89,0	0,74
22,00	30,0	91,0	0,88	91,0	0,84	91,0	0,85	90,2	0,83
30,00	40,0	90,4	0,88	91,7	0,85	91,7	0,84	90,2	0,85
37,00	50,0	92,2	0,87	92,4	0,86	91,7	0,84	91,0	0,83
45,00	60,0	91,7	0,9	93,0	0,89	91,7	0,87	91,0	0,82
55,00	75,0	92,4	0,9	93,0	0,88	93,0	0,85	92,0	0,81
75,00	100,0	93,0	0,91	93,2	0,87	93,0	0,83	92,0	0,77
90,00	125,0	93,0	0,88	93,2	0,86	93,0	0,84	92,5	0,79
110,00	150,0	93,3	0,9	93,5	0,87	94,1	0,83	92,5	0,79
130,00	175,0	93,5	0,87	94,1	0,85	94,1	0,82		
150,00	200,0	94,1	0,9	94,5	0,86	94,1	0,81		
185,00	250,0	94,1	0,9	94,5	0,86				

ALTO RENDIMENTO									
POTÊNCIA		WEG							
		II Polos		IV Polos		VI Polos		VIII Polos	
kW	cv	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA						
0,75	1,0	81,2	0,83	82,6	0,80	80,0	0,70	70,0	0,63
1,10	1,5	82,5	0,87	81,5	0,82	77,0	0,74	78,0	0,60
1,50	2,0	83,5	0,84	84,0	0,76	83,5	0,70	82,5	0,61
2,20	3,0	85,0	0,85	85,0	0,82	83,0	0,71	84,5	0,75
3,00	4,0	86,0	0,85	86,5	0,82	86,5	0,73	85,0	0,75
3,70	5,0	87,5	0,85	88,0	0,80	87,5	0,75	85,5	0,74
4,50	6,0	88,0	0,89	89,0	0,81	87,5	0,74	85,5	0,69
5,50	7,5	88,7	0,86	90,0	0,80	88,5	0,73	87,0	0,68
7,50	10,0	89,5	0,88	91,0	0,82	88,5	0,77	88,5	0,70
9,00	12,5	89,5	0,88	91,0	0,83	89,5	0,81	89,5	0,78
11,00	15,0	90,5	0,90	91,7	0,84	90,2	0,79	89,5	0,78
15,00	20,0	92,0	0,86	92,4	0,80	90,2	0,79	89,5	0,80
18,50	25,0	92,0	0,85	92,6	0,81	91,7	0,88	90,0	0,75
22,00	30,0	92,0	0,87	93,0	0,84	92,5	0,82	91,0	0,83
30,00	40,0	93,1	0,86	93,0	0,83	93,0	0,82	91,0	0,81
37,00	50,0	93,5	0,86	93,2	0,85	93,0	0,83	91,7	0,81
45,00	60,0	93,0	0,89	93,6	0,86	93,6	0,82	91,7	0,81
55,00	75,0	93,0	0,90	94,1	0,88	93,6	0,82	93,0	0,78
75,00	100,0	93,6	0,92	94,5	0,85	94,1	0,84	93,0	0,78
90,00	125,0	94,5	0,89	94,5	0,85	94,1	0,84	93,6	0,79
110,00	150,0	94,5	0,89	95,0	0,86	95,0	0,84	93,6	0,78
130,00	175,0	94,7	0,89	95,0	0,87	95,0	0,83		
150,00	200,0	95,0	0,87	95,0	0,87	95,0	0,83		
185,00	250,0	95,4	0,89	95,5	0,86				

Tabela 1C – Motores EBERLE
(INMETRO, 2003a)

STANDARD									
POTÊNCIA		EBERLE							
		II Polos		IV Polos		VI Polos		VIII Polos	
KW	cv	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA						
0,75	1,0	77,0	0,85	78,0	0,84	73,0	0,68	68,0	0,58
1,10	1,5	78,5	0,86	79,0	0,85	75,0	0,71	74,5	0,66
1,50	2,0	81,0	0,88	81,5	0,80	77,0	0,70	77,0	0,65
2,20	3,0	81,5	0,86	83,0	0,81	78,5	0,74	78,0	0,71
3,00	4,0	82,5	0,87	83,5	0,86	83,0	0,72	79,0	0,62
3,70	5,0	84,5	0,88	85,0	0,81	85,0	0,81	80,0	0,73
4,50	6,0	85,5	0,89	86,0	0,81	85,5	0,76	-	-
5,50	7,5	86,5	0,87	87,0	0,81	86,0	0,80	84,0	0,59
7,50	10,0	87,5	0,87	87,5	0,85	87,0	0,79	85,0	0,63
9,00	12,5	88,0	0,89	87,5	0,89	87,5	0,75	-	-
11,00	15,0	89,5	0,89	88,5	0,88	89,0	0,74	90,0	0,70
15,00	20,0	89,0	0,89	89,5	0,88	89,5	0,77	90,0	0,69
18,50	25,0	89,5	0,92	90,5	0,89	90,2	0,82	91,0	0,74
22,00	30,0	90,0	0,94	91,0	0,88	91,0	0,79	91,0	0,72
30,00	40,0	91,0	0,89	91,7	0,88	91,7	0,78	91,5	0,72
37,00	50,0	91,5	0,9	92,4	0,88	92,0	0,75	91,0	0,75
45,00	60,0	92,5	0,92	93,0	0,89	92,5	0,84	91,5	0,78
55,00	75,0	92,8	0,9	93,0	0,88	92,8	0,86	92,0	0,76
75,00	100,0	93,5	0,89	93,5	0,87	93,0	0,83	92,5	0,77
90,00	125,0	93,7	0,89	93,8	0,88	93,5	0,83	93,5	0,75
110,00	150,0	84,0	0,89	94,1	0,89	94,1	0,86	93,8	0,76
130,00	175,0	94,0	0,89	94,1	0,88	94,1	0,86		
150,00	200,0	94,2	0,9	94,5	0,88	94,2	0,86		
185,00	250,0	94,3	0,89	94,5	0,89				

ALTO RENDIMENTO									
POTÊNCIA		EBERLE							
		II Polos		IV Polos		VI Polos		VIII Polos	
KW	cv	RENDIMENTO	FATOR DE POTÊNCIA						
0,75	1,0	80,0	0,80	80,5	0,70	80,5	0,69	78,8	0,53
1,10	1,5	83,0	0,75	81,5	0,77	81,0	0,61	81,5	0,59
1,50	2,0	83,5	0,81	84,0	0,82	83,9	0,64	84,3	0,61
2,20	3,0	85,0	0,81	85,0	0,81	84,8	0,72	86,4	0,61
3,00	4,0	86,5	0,85	86,3	0,77	86,3	0,70	86,5	0,63
3,70	5,0	87,5	0,82	87,5	0,81	87,7	0,73	87,4	0,65
4,50	6,0	88,0	0,85	88,5	0,84	88,5	0,73	88,1	0,53
5,50	7,5	88,5	0,84	89,5	0,85	89,5	0,73	89,7	0,60
7,50	10,0	89,5	0,85	91,0	0,87	90,2	0,71	90,5	0,60
9,00	12,5	89,5	0,86	91,4	0,85	90,6	0,75	91,0	0,61
11,00	15,0	90,2	0,87	91,7	0,87	91,0	0,76	91,2	0,62
15,00	20,0	90,2	0,87	92,4	0,85	91,7	0,75	91,5	0,62
18,50	25,0	91,0	0,88	92,6	0,84	92,2	0,77	92,0	0,69
22,00	30,0	92,0	0,89	93,0	0,85	93,0	0,80	92,3	0,71
30,00	40,0	92,0	0,90	93,0	0,87	93,4	0,79	93,0	0,70
37,00	50,0	92,4	0,92	93,5	0,86	93,5	0,76	93,6	0,72
45,00	60,0	93,0	0,91	93,8	0,88	93,7	0,83	93,6	0,75
55,00	75,0	93,2	0,91	94,1	0,88	93,8	0,85	94,1	0,78
75,00	100,0	93,8	0,90	94,5	0,89	94,2	0,82	94,5	0,74
90,00	125,0	94,5	0,90	95,0	0,88	94,5	0,82	94,7	0,75
110,00	150,0	94,5	0,91	95,0	0,88	95,0	0,85	94,9	0,77
130,00	175,0	94,7	0,90	95,0	0,88	95,1	0,85		
150,00	200,0	95,0	0,90	95,0		95,3	0,84		
185,00	250,0	95,4	0,91	95,5					