

## ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS MOTORES TRIFÁSICOS NACIONAIS

João Roberto Cogo, da EFEI  
Jocélio Souza de Sá, do INATEL  
Nelson W. B. Simões, da CEMIG  
Jaime A. Burgoa, da CEMIG

Artigo publicado na Revista Eletricidade Moderna - Ano XXI, nº 227 - fevereiro 1993, páginas 26 a 39

Com ensaios aplicados a mais de 30 motores de indução trifásicos, o estudo aqui apresentado apontou lacunas na NBR5383 e constatou altos índices de perdas e baixos fatores de potência e rendimentos nos motores fabricados no Brasil. Os autores sugerem mudanças na normalização, a reavaliação dos projetos e melhor controle de qualidade dos materiais na fabricação (como forma de elevar o desempenho), analisando, também o chamado motor de alto rendimento.

No Brasil, conforme relatórios estatísticos da Abinee - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, na última década (19881-1990), foram vendidos mais de 2000 motores por dia, os quais estão distribuídos, percentualmente, nas seguintes faixas:

até 1 [CV] - 32 a 36%;  
de 1 a 10 [CV] - 54 a 59%;  
de 10 a 40 [CV] - 6 a 8%;  
de 40 a 100 [CV] - 0,5 a 1 %;  
de 100 a 300 [CV] - 0,4 a 0,5%; e  
acima de 300 [CV] - menos que 0,4%.

Nota-se que a grande maioria dos motores vendidos por dia está na faixa de 1 a 10 [CV], representando mais de 1000 motores/dia sendo, portanto um mercado potencial bastante atrativo.

Por outro lado, nota-se que a divisão deste mercado potencial, no Brasil, está restrita a poucos fabricantes, sendo que na faixa mais abrangente (1 a 100 [CV]) existem, para fins práticos, três fabricantes.

O desenvolvimento tecnológico na Europa trouxe uma razoável economia de material, pois o peso dos motores, que em 1881 era de 88 [Kg] / [Kw], caiu para a marca de 6,8 [Kg] / [kW] em 1984, ou seja, praticamente 13 vezes menos [5].

Embora a busca de uma melhor eficiência dos motores para um menor custo, aliado a um efetivo desenvolvimento tecnológico, seja essencial no Brasil, o motor denominado pelos fabricantes como sendo de “alto rendimento” possuem um peso maior que os convencionais para a mesma potência, caminhando-se, portanto, em sentido contrário àquele definido pela história da evolução tecnológica nesta área.

Uma vez que o custo das perdas [4] ao longo de apenas dez anos, com fator de carga de 50%, pode representar mais de cinco vezes o preço inicial do motor, uma especificação eficiente [6] na escolha do motor é fundamental e, às vezes, até mais interessante do que comprar o denominado motor de alto rendimento, visto que o custo de energia elétrica pode representar mais de 50 vezes o preço inicial do motor naquela condição [4].

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

A escolha de um motor de indução deve levar em conta:

- o tipo de acionamento;
- o número de partidas por hora;
- o grau de intermitência;
- a potência e a velocidade de carga;
- o momento de inércia da carga;
- as condições de partida;
- a tensão;
- o rendimento; e
- o fator de potência.

Dentro deste contexto, o rendimento afeta, entre outros, o custo inicial e o custo de operação do motor. Além disso, a portaria nº85 de 25/03/92, publicada no Diário Oficial da União em 26/03/92, eleva para 0,92 o novo fator de potência de referência, o que implica que os motores deverão ser melhorados sob este aspecto.

As características de rendimento e fator de potência são representadas nas FIGURAS 1 e 2, onde se nota a característica plana do rendimento na faixa de 40 a 110% da potência nominal do motor [7].

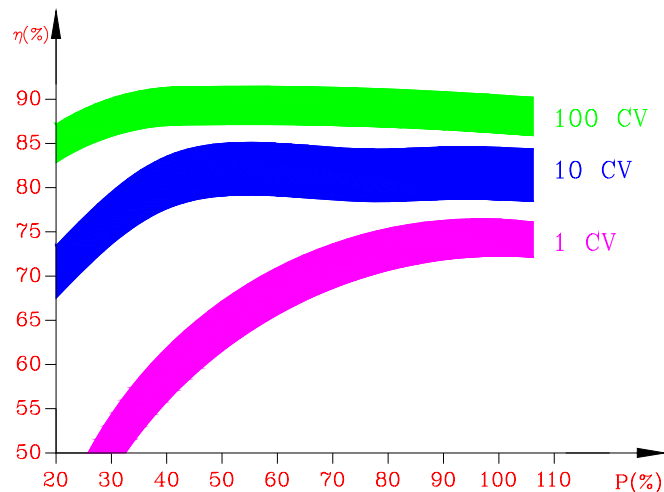


FIGURA 1 - CARACTERÍSTICAS DE RENDIMENTO VS. POTÊNCIA NO EIXO

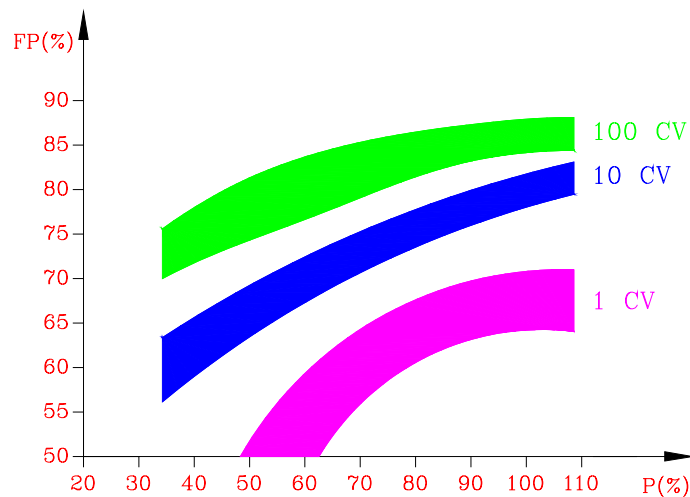


FIGURA 2 - CARACTERÍSTICA DE FATOR DE POTÊNCIA VS. POTÊNCIA NO EIXO

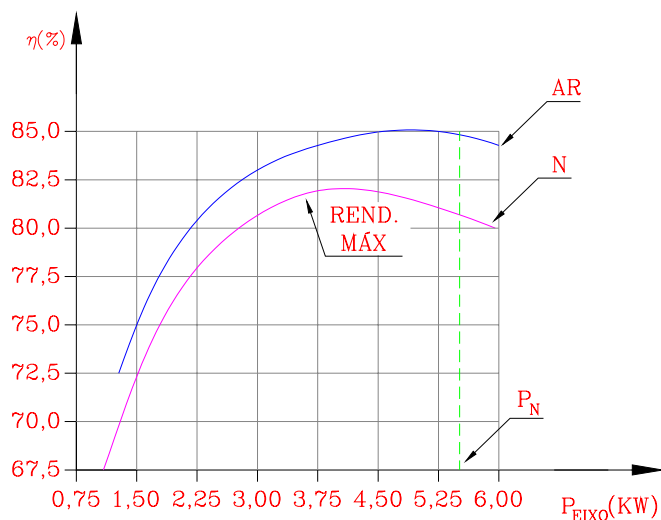


FIGURA 3 - CURVAS COMPARATIVAS DE RENDIMENTO ENTRE O MOTOR NORMAL (N) E O DENOMINADO PELO FABRICANTE DE ALTO RENDIMENTO (AR)

No Brasil, para os motores testados, a característica plana desejada para o rendimento não ocorre para os motores normais, conforme mostrado na FIGURA 3. Nesta FIGURA têm-se as curvas características do rendimento para um motor normal e para um motor de “alto rendimento”.

A comparação para o fator de potência é feita na FIGURA 4, que mostra que diferença entre o fator de potência para os motores convencionais e os denominados de “alto rendimento” deixa a desejar.

Na FIGURA 5 nota-se que as perdas por atrito no motor convencional são menores que as perdas por atrito no motor de “alto rendimento”. (A perda por atrito é obtida levantando-se a curva de potência elétrica em função da tensão, e tomando-se o ponto onde a tensão é nula).

Dentro deste contexto, uma análise detalhada dos materiais construtivos do motor, bem como das técnicas empregadas, é fundamental.

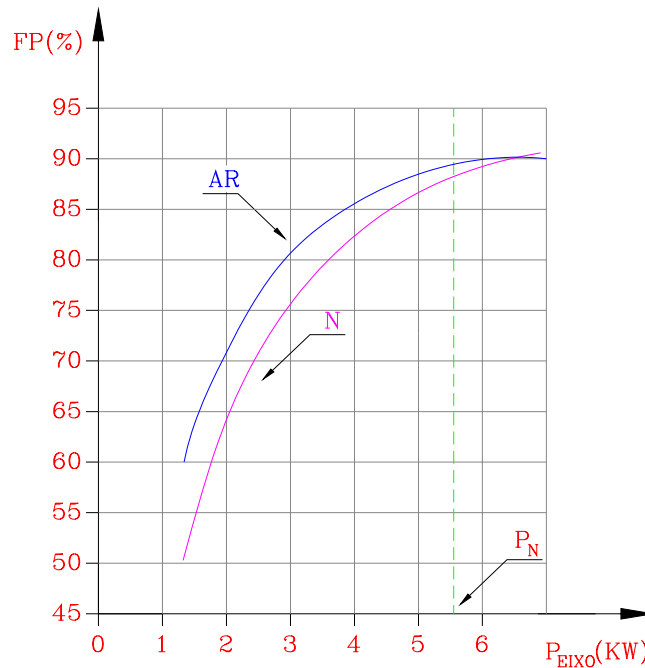


FIGURA 4 - CURVAS COMPARATIVAS DO FATOR DE POTÊNCIA ENTRE O MOTOR NORMAL (N) E O DENOMINADO PELO FABRICANTE DE ALTO RENDIMENTO (AR)

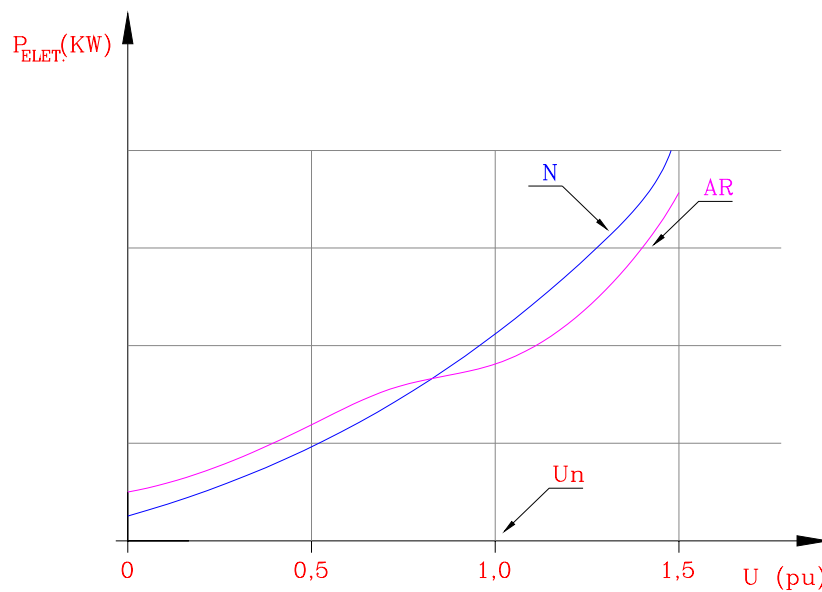


FIGURA 5 - CURVAS COMPARATIVAS DAS PERDAS EM VAZIO EM FUNÇÃO DA TENSÃO PARA UM MOTOR NORMAL (N) E O DENOMINADO PELO FABRICANTE DE ALTO RENDIMENTO (AR)

## RESULTADOS DOS TESTES

Os principais resultados do projeto P.6.4.4/06 - DT “Avaliação do desempenho dos motores elétricos trifásicos”, desenvolvido sob a coordenação da Cemig e executado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá / Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria, com os recursos financeiros da Eletrobrás / Procel, para os motores mais difundidos na indústria e fabricados em série no Brasil, na faixa de potência de 1 a 100 [CV], serão apresentados a seguir com base em [1], [2] e [3].

## MÉTODOS DE ENSAIO

Os métodos utilizados para determinação das características e parâmetros dos motores foram baseados na norma ABTN NBR 5383 (1982), sendo que as medições dos ensaios foram realizadas por um sistema de aquisição de dados acoplado a um microcomputador, evitando erros de leitura e de transposição de dados pelo operador.

O diagrama de blocos da FIGURA 6 [1] ilustra basicamente o sistema de medição utilizado. Neste diagrama tem-se o regulador de tensão (sistema de tensão controlada do motor em teste), e o sistema M1, correspondente à transformação dos sinais de tensão e de corrente com uso de transformadores de potencial (TP) e de corrente (TC) para valores adequados à aquisição de dados. Esta aquisição é feita digitalizando-se os sinais de tensão e corrente em 128 pontos, a 60 Hz, o que possibilita calcular o seguinte:

- valor eficaz da tensão para cada uma das fases do motor;
- valor eficaz da corrente para cada uma das fases do motor;
- ângulo de fase entre a tensão e a corrente para cada fase para se obter o valor do fator de potência por fase e médio; e
- potência elétrica absorvida pelo motor ( $P_e$ ).

Ainda no diagrama, tem-se:

TTfi - Transdutor de torque: fornece o valor do conjugado desenvolvido (M) e da rotação no eixo do motor (n). A partir do conjugado e da rotação calcula-se a potência mecânica ( $P_m$ );

Freio - Sistema responsável pela simulação de carga no motor de indução em teste;

A partir dos valores obtidos por medição diretamente com base em  $P_e$  e  $P_m$  calculam-se as perdas totais e o rendimento. Os valores de rotação (n) e de frequência da rede (f) possibilitam a determinação dos valores do(s) escorregamento(s).

Estão relacionados, a seguir, alguns aparelhos / equipamentos utilizados e algumas considerações sobre ensaios:

- transformadores de corrente e de potencial com erro de relação 0,20%;
- freio eletrodinâmico com mancal suspenso por filme de óleo, ar aspirado, erro de torque de 0,30%;
- célula de carga calibrada com peso padrão para cada faixa operacional;
- transdutores de torque com precisão de 0,20%, e

- microcomputadores (para que as medições das grandezas eletromecânicas fossem, simultâneas e com uma resolução mínima de oito bits).

O método de teste para a determinação do rendimento e fator de potência foi o da medição direta previsto na norma NBR5383 (1982), que consiste em medir para os diversos pontos de operação as seguintes grandezas:

- tensão de entrada (U);
- corrente de entrada (I);
- potência elétrica média da entrada ( $P_e$ );
- potência de saída (no eixo) ( $P_m$ ); e
- velocidade (n).

De posse destes valores, tem-se que o rendimento  $\eta$  é obtido como:

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} \cdot 100$$

e o fator de potência como:

$$FP = \frac{P_e}{\sqrt{3}UI}$$

Os demais testes (aquecimento, torque, corrente de partida, resistência elétrica, etc.) procuraram atender o disposto na referida norma, embora nela não esteja previsto, de forma clara, como estes devem ser feitos.

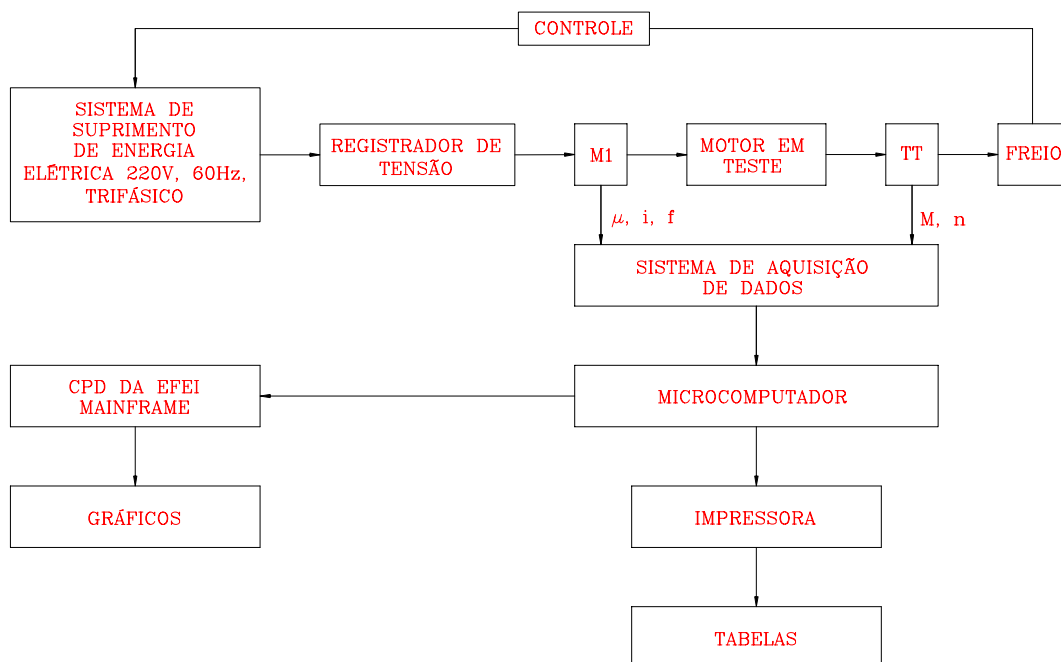


FIGURA 6 - DIAGRAMA DE BLOCOS MOSTRANDO DE MODO SIMPLIFICADO A FORMA DE TESTE EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

## ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

### PERDAS

Perdas em um motor elétrico podem ser divididas basicamente em:

- perdas por efeito Joule no enrolamento do estator;
- perdas por efeito Joule no enrolamento do rotor;
- perdas em vazio (perdas no ferro, por atrito e ventilação); e
- perdas suplementares.

Geralmente as perdas por efeito Joule no enrolamento do estator representam a maior percentagem das perdas totais.

As perdas por efeito Joule no enrolamento do rotor passam a ser significativas especiais, com elevada resistência no circuito do rotor (motores praticamente sem efeito pelicular nas barras do rotor).

As perdas suplementares, conforme a norma NBR5383/1982, página 28, devem ser da ordem de 0,5% da potência nominal. Porém, estas perdas variam de 3,95 a 30,58% das perdas totais, em motores testados na GENERAL ELECTRIC [8].

Em motores pequenos ou especiais (grande entreferro), as perdas em vazio ( $P_o$ ) são bastante significativas. Em motores de 3 a 15 CV, tais perdas apresentam valores que variam entre 6 a 17% da potência nominal. Esta faixa se altera para os motores de maior porte (> 15 [CV]), situando-se entre 3,4 e 8%. Estas perdas praticamente mantêm-se constantes com a variação da carga no eixo do moto, e tornando-se de grande significado quando comparadas com as perdas totais nominais, atingindo valores entre 31 a 61% (TABELA 1)

TABELA 1 - INFLUÊNCIA DAS PERDAS EM VAZIO ( $P_o$ ) NAS PERDAS TOTAIS  
( $P_T$ ) - VALORES EM PORCENTAGEM

Potência [CV]	Fabricante			
	A	B	C	D
3	42,8	44,7	49,6	50,6
5	53,8	61,3	55,6	54,3
7,5	38,8	55,5	43,8	43,0
10	52,6	54,9	47,8	50,0
15	52,8	41,0	36,3	53,3
20	31,1	-	-	-
25	34,3	-	-	-
30	-	49,6	39,3	39,6
40	-	50,20	-	-
60	-	-	-	42,2
75	36,4	-	-	-
100	-	-	40,7	-

Obs.: Os motores de 60 e 100 [CV] dos fabricantes C e D respectivamente não atingiram a potência nominal devido a problemas de vibração excessiva.

As perdas em vazio compõem-se de:

- perdas por atrito e ventilação ( $P_{AV}$ )
- perdas Joule no enrolamento do estator ( $P_{Jo}$ )
- perdas por histerese e Foucault no estator ( $P_{HF}$  - TABELA 2).

TABELA 2 - INFLUÊNCIA DAS PERDAS NO FERRO ( $P_{HF}$ ) NAS PERDAS EM VAZIO ( $P_o$ ) - VALORES EM PORCENTAGEM

Potência [CV]	Fabricante			
	A	B	C	D
3	59,2	73,6	68,5	78,9
5	67,8	77,7	67,7	75,1
7,5	53,3	79,6	65,0	78,7
10	63,0	77,2	66,1	74,3
15	55,8	79,0	64,8	76,5
20	63,7	-	-	-
25	50,5	-	-	-
30	-	65,4	67,2	75,6
40	-	71,4	-	-
60	-	-	56,8	81,9
75	61,9	-	-	-
100	-	-	76,0	53,4

A corrente em vazio do motor de indução trifásico, por sua vez, representa basicamente a parcela da corrente consumida pelo motor que praticamente independe da carga no eixo do motor. Conforme mostra a TABELA 3, para motores pequenos a corrente em vazio representa uma parcela significativa da corrente total. Esta percentagem cai com o crescimento da potência do motor.

Já os valores obtidos das perdas a plena carga para motores de mesma potência e de fabricantes diferentes apresentaram uma ampla faixa de variação (TABELAS 4 e 5), permitindo concluir que é possível reduzi-las sem incorrer em aumento substancial do custo do motor, uma vez que foram usadas, nestas comparações, os motores encontrados normalmente no mercado.

**TABELA 3 - INFLUÊNCIA DA CORRENTE EM VAZIO ( $I_o$ ) NA CORRENTE NOMINAL ( $I_N$ ) - VALORES EM PORCENTAGEM**

Potência [CV]	Fabricante			
	A	B	C	D
3	56	54	58	54
5	56	64	50	50
7,5	47	52	43	46
10	50	47	46	41
15	40	45	39	43
20	44	-	-	-
25	36	-	-	-
30	-	44	35	30
40	-	44	-	-
60	-	-	31	31
75	33	-	-	-
100	-	-	35	30

**TABELA 4 - DISTRIBUIÇÃO DE PERDAS EM KW (MOTORES DE 10 [CV])**

FAB	$P_{TOTAL}$	$P_{j1}$	%	$P_{HF}$	%
A	1,7096	0,437	25,56	0,566	33,11
B	1,2118	0,335	27,62	0,514	42,38
C	1,6104	0,368	22,85	0,509	31,61
D	1,3171	0,315	23,92	0,489	37,13
(%)*	40,96	38,73		15,75	

FAB	$P_{AV}$	%	$P_{j2}$	%	P	%
A	0,230	13,45	0,1854	10,84	0,2912	17,03
B	0,080	6,60	0,1809	14,92	0,1029	8,48
C	0,180	11,18	0,1460	9,07	0,4074	25,3
D	0,120	9,11	0,1690	12,83	0,2241	17,01
(%)*	187,5		26,99		182,99	

(%)\* Representa as maiores variações de perdas entre os motores. Verifica-se que as perdas por efeito Joule, no circuito do estator ( $P_{j1}$ ) e as por histerese e Foucault são as que mais influenciam as perdas totais.

**TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DE PERDAS EM UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO**

Especificação das perdas	% em relação às perdas totais	Fatores que influenciam nestas perdas
Perdas no estator	35 a 40	Dimensão dos condutores do estator
Perdas no rotor	15 a 20	Dimensão dos condutores do rotor
Perdas no ferro	15 a 20	Tipo e quantidade de material magnético
Perdas por atrito e ventilação	5 a 10	Seleção/projeto de mancais e ventiladores
Perdas por dispersão	10 a 15	Métodos de projeto e fabricação

## RENDIMENTO

O rendimento do motor elétrico representa a relação entre as potências de saída e de entrada do motor. Existem diversos métodos para determinação do rendimento, todos eles geralmente levando a diferentes resultados.

A análise dos métodos existentes permite concluir que o mais eficiente é aquele que separa as perdas e faz a correção das mesmas com a temperatura (tanto a resistência do enrolamento do estator quanto a do enrolamento do rotor variam com a temperatura). Deve-se mencionar que a comissão que faz a revisão da norma atual está propondo este método.

É importante observar, ainda, que os ensaios realizados em motores disponíveis no mercado mostram a pouca confiabilidade dos dados indicados nos catálogos dos fabricantes. A solução para contornar este problema seria a instalação de um laboratório para etiquetagem de motores.

Na norma NBR5383 constam diversos métodos para determinação do rendimento, que podem ser divididos em dois grupos principais:

### 1 - Métodos diretos:

- ensaio através de freio mecânico;
- ensaio através de dinamômetros;
- ensaio com máquina calibrada; e
- ensaio de oposição elétrica e mecânica.

### 2 - Métodos Indiretos:

- determinação das perdas separadamente para sua adição;
- determinação das perdas totais;
- circuito equivalente; e
- diagrama tipo L.

Nos métodos diretos, o rendimento é calculado através de medições das potências elétrica e mecânica e, nos, métodos indiretos, ele é obtido através do cálculo das perdas, normalmente a partir da medição dos parâmetros do motor nos ensaios de rotor livre e bloqueado. O método utilizado neste projeto foi o dos ensaios através de dinamômetros, que é um método direto.

Nos ensaios desenvolvidos, verificou-se uma grande variação do rendimento nominal para motores de mesma potência e de fabricantes diferentes (TABELA 6), sendo que o ideal é que a diferença seja menor que 1% [7].

Potência [CV]	Fabricante (N%)				Variação (%)
	A	B	C	D	
3	73,30	77,40	74,30	76,55	5,6
5	81,97	81,50	80,90	81,30	1,3
7,5	83,50	84,16	82,88	80,85	4,1
10	81,13	85,84	82,03	84,80	5,8
15	84,01	86,50	84,28	85,28	3,0
30	-	88,60	87,40	87,10	1,7

## FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência de um motor é significativamente influenciado pela carga acionada, sendo que a variação de 100% para 50% da carga no eixo provoca reduções entre 9,6 e 21,6%. Além do mais, ele influencia de modo preponderante o carregamento dos condutores e transformadores de alimentação, sendo importante a otimização das curvas a fim de minimizar os efeitos negativos no sistema elétrico.

Convém lembrar, novamente, que a portaria DNAEE nº 85, de 25/03/92, alterou o valor do fator de potência de referência, de 0,85 para 0,92.

## CORRENTE NOMINAL

Os valores obtidos para a corrente nominal dos motores ensaiados e a comparação destes com os fornecidos em catálogo resultaram em pequenas variações.

## CORRENTE DE PARTIDA

Na maioria dos motores ensaiados os valores obtidos para a corrente de partida apresentam valores superiores aos especificados em catálogo, atingindo em alguns casos variações maiores que 50%. Este fato gera dificuldades como maior queda de tensão na partida; necessidade de adequação ou substituição de proteção e condutores (sobreaquecimento de cabos e atuação indevida das proteções); e possibilidade de redução da vida útil (sobreaquecimento do motor por ocasião de partidas sucessivas).

Na origem do problema, estão fatores como seção, qualidade e quantidade dos condutores, disposição dos enrolamentos do estator e entreferro (reatâncias de dispersão e de magnetização), além da qualidade das chapas utilizadas nos núcleos dos estator e rotor (reatâncias de dispersão e de magnetização) e do formato das ranhuras que alojam as barras do rotor (resistência e reatância de partida do enrolamento do rotor).

## CONJUGADO DE PARTIDA

Na maioria dos motores, o conjugado de partida obtidos nos ensaios foi maior que o fornecido nos catálogos dos fabricantes e na norma NBR 5383.

A divergência verificada nos conjugados medidos com aqueles encontrados nos catálogos dos fabricantes podem ser decorrente das condições de ensaio, uma vez que os conjugados de partida dependem basicamente dos parâmetros elétricos e magnéticos do motor, principalmente da resistência elétrica do circuito do rotor. Como esta resistência é variável com a temperatura, a coincidência ou não dos valores de ensaio e de catálogo vai depender das condições em que estas medições foram realizadas.

## INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA TENSÃO NO COMPORTAMENTO DO MOTOR

A síntese dos resultados comparativos dos motores operando com tensões acima e abaixo da nominal com relação à operação com tensão nominal encontra-se nas TABELAS 7 e 8.

Condição de carga	Parâmetros Analisados	1,10 U <sub>N</sub>	Variação %	Frequência* %
Em vazio	Perdas	Aumentam	13,48 a 66,25	100
	Corrente	Aumenta	20,18 a 52,14	100
	Fator de potência	Diminui	0,64 a 18,52	87
Abaixo da nominal	Rendimento	Diminui	0,42 a 21,05	96
	Corrente	Aumenta	0,37 a 36,41	96
	Fator de potência	Diminui	7,34 a 24,88	100
Nominal	Rendimento	Diminui	0,13 a 4,41	78
	Corrente	Diminui	0,39 a 6,25	68
	Fator de potência	Diminui	3,60 a 10,59	100

\* Percentual de motores que sofreram variação dos parâmetros quando foi alterada a tensão de alimentação para valores superiores à nominal.

Condição de carga	Parâmetros Analisados	0,90 U <sub>N</sub>	Variação %	Frequência* %
A vazio	Perdas	Diminuem	12,20 a 34,00	100
	Corrente	Diminui	11,83 a 28,05	100
	Fator de potência	Aumenta	0,72 a 19,17	90
Abaixo da nominal	Rendimento	Aumenta	0,29 a 10,52	83
	Corrente	Diminui	0,50 a 15,54	70
	Fator de potência	Aumenta	4,81 a 25,38	93
Nominal	Rendimento	Diminui	0,13 a 9,20	93
	Corrente	Aumenta	3,25 a 16,46	100
	Fator de potência	Aumenta	0,58 a 7,99	100

\* Percentual de motores que sofreram variação dos parâmetros quando foi alterada a tensão de alimentação para valores inferiores à nominal.

Nessas TABELAS observa-se que a elevação de tensão prejudica sensivelmente o funcionamento dos motores.

Na condição em vazio e com carga abaixo da nominal, verificou-se aumento significativo das perdas e da corrente de alimentação. A elevação de tensão provavelmente levou alguns motores para a região de saturação, provocando aumento da relutância de magnetização, resultando em aumentos significativos da corrente e das perdas por efeito Joule no circuito do estator e, conseqüentemente, das perdas totais.

Na condição de operação com plena carga, o efeito de elevação de tensão é também prejudicial, porém em menor grau do que nas operações em vazio e com carga inferior à nominal. Nesta condição de operação, a corrente e as perdas aumentaram. A redução de tensão com a manutenção da potência acionada faz com que a potência elétrica de alimentação deve ser maior que a potência mecânica no eixo. Com o aumento da corrente de alimentação aumentam também as perdas por efeito Joule no estator, com uma conseqüente redução no rendimento.

Na operação em vazio e com carregamentos abaixo do nominal, as perdas e a corrente, na maioria dos motores, diminuíram, devido à redução sensível das perdas no ferro, que representam uma grande parcela das perdas totais.

Estes resultados levam a crer que o funcionamento de um motor com tensão e carregamento abaixo dos nominais é benéfico sob o aspecto de conservação de energia. Ressalta-se, entretanto, que o conjugado desenvolvido por um motor varia aproximadamente com o quadrado da tensão; assim, uma redução de tensão de 10% acarretará uma redução de 21% no conjugado, o que pode ocasionar sérios problemas aos motores que partem com carga.

## INFLUÊNCIA DO DESEQUILÍBRIO DE TENSÕES NO COMPORTAMENTO DO MOTOR

De um modo geral, nos motores ensaiados, a influência deste desequilíbrio de tensões (5 a 10%) afetou, de forma significativa, o rendimento da maioria dos motores, executando-se dois em que o rendimento diminui de 7,97 a 7,12% em relação à condição de carga nominal.

Este efeito deve ter sido minimizado pelas diferentes impedâncias das três fases do motor que, através do desequilíbrio de tensões, causaram compensações.

## SOBREDIMENSIONAMENTO DO MOTOR

A análise de uma instalação elétrica visando economia de energia (vide TABELAS 9 a 13) deve ser feita levando-se em conta os motores elétricos e todos os parâmetros envolvidos, tais como:

- o perfil da tensão de alimentação;
- corrente;
- fator de potência;
- momento de inércia;
- número de partidas por hora; etc.

Motor	P <sub>eixo</sub> [CV]	I (A)	N%	FP	Tensão
	3	22,38	66,09	0,345	110% U <sub>N</sub>
		16,47	67,47	0,414	100% U <sub>N</sub>
		16,48	69,35	0,469	90% U <sub>N</sub>
	5	24,30	75,65	0,475	110% U <sub>N</sub>
		20,72	79,75	0,578	100% U <sub>N</sub>
		19,23	81,41	0,661	90% U <sub>N</sub>
15 [CV]	7,5	27,14	80,55	0,600	110% U <sub>N</sub>
		25,13	83,81	0,703	100% U <sub>N</sub>
		24,09	85,13	0,781	90% U <sub>N</sub>
	10	30,58	82,95	0,0691	110% U <sub>N</sub>
		29,25	84,47	0,779	100% U <sub>N</sub>
		30,13	85,11	0,834	90% U <sub>N</sub>
	15	39,22	84,50	0,794	110% U <sub>N</sub>
		40,49	84,01	0,849	100% U <sub>N</sub>
		44,17	83,23	0,873	90% U <sub>N</sub>

Motor [CV]	P <sub>eixo</sub> [CV]	I (A)	N%	FP	Tensão
3	3	9,36	74,91	0,742	110% U <sub>N</sub>
		9,84	73,30	0,804	100% U <sub>N</sub>
		11,46	86,56	0,848	90% U <sub>N</sub>
5	5	15,97	80,00	0,686	110% U <sub>N</sub>
		15,40	81,97	0,763	100% U <sub>N</sub>
		15,90	81,77	0,824	90% U <sub>N</sub>
7,5	7,5	21,78	79,82	0,755	110% U <sub>N</sub>
		21,09	83,50	0,822	100% U <sub>N</sub>
		22,45	82,93	0,872	90% U <sub>N</sub>
10	10	29,89	80,80	0,725	110% U <sub>N</sub>
		30,04	21,13	0,791	100% U <sub>N</sub>
		32,29	80,37	0,827	90% U <sub>N</sub>

Motor	P <sub>eixo</sub> [CV]	I%	N%	FP	Motor
15 [CV]	3	+ 139,10	- 9,10	- 53,50	3 [CV]
	5	+ 52,16	- 5,44	- 30,76	5 [CV]
	7,5	+ 24,61	+ 0,92	- 20,53	7,5 [CV]
	10	+ 2,31	+ 2,66	- 4,69	10 [CV]

TABELA 12 - TENSÃO DE 100% DE $U_N$ ( $U_N = 220$ V)					
Motor	$P_{\text{eixo}}$ [CV]	I%	N%	FP	Motor
15 [CV]	3	+ 87,70	- 7,95	- 48,51	3 [CV]
	5	+ 34,55	- 2,71	- 24,25	5 [CV]
	7,5	+ 19,16	- 0,37	- 14,48	7,5 [CV]
	10	- 2,63	+ 4,12	- 1,52	10 [CV]

TABELA 13 - TENSÃO DE 90% DE $U_N$ ( $U_N = 220$ V)					
Motor	$P_{\text{eixo}}$ [CV]	I%	N%	FP	Motor
15 [CV]	3	+ 43,81	+ 4,19	- 44,69	3 [CV]
	5	+ 20,94	- 0,44	- 19,78	5 [CV]
	7,5	+ 7,31	+ 2,65	- 10,44	7,5 [CV]
	10	- 6,69	+ 5,90	- 0,85	10 [CV]

## CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Existem muitos métodos de teste em motores para determinar seus rendimentos.

A Norma ABNT de especificação e testes de motores apresenta fórmulas que devem ser revistas, e a exposição das metodologias não é clara quanto à realização dos ensaios. São oito os métodos para determinação do rendimento, sendo quatro diretos (mais precisos) e quatro indiretos (menos precisos) que, se utilizados em um mesmo motor, podem resultar em valores com significativas diferenças. Por outro lado, alguns fabricantes não indicam em seu catálogo qual método foi utilizado para determinação dos parâmetros dos motores. As consequências recaem sobre o usuário que, sem maiores informações, adquire o motor influenciado apenas pelo fator preço, sem levar em consideração os aspectos de eficiência energética e durabilidade. Esta indefinição quanto ao método impossibilita também a comparação entre motores de mesma potência e de fabricantes diferentes, pois um motor de boa qualidade pode apresentar o mesmo valor de rendimento que um de má qualidade, simplesmente porque os métodos de ensaio utilizados podem não ser os mesmos.

Conforme já descrito, a qualidade dos materiais tem grande influência nas perdas dos motores. Tomando como base apenas os motores na faixa de 3 a 15 [CV], os resultados dos testes mostram que o rendimento dos motores varia de 73,3 até 86,5%, com as perdas representando valores compreendidos entre 36,43 e 15,61%, respectivamente, das potências nominais dos motores. Devido a esta ampla faixa de variação do rendimento e analisando-se cada uma das perdas separadamente, aproveitando as melhores características existentes em cada um deles.

As reduções seriam possíveis nos seguintes pontos:

- a participação das perdas no ferro nas perdas totais, que atingem valores de 47,64%, podem ser reduzidas para valores em torno de 30%;

- as perdas por efeito Joule, representando valores que chegam a alcançar 35,33%, podem ser reduzidas para valores de ordem de 25% do total;
- as perdas por atrito e ventilação, representando valores que atingem 19,53%, podem ser reduzidas para valores em torno de 5%; e
- as perdas por efeito Joule no rotor, representando valores que atingem até 25%, podem ser reduzidas para 15%.

A alimentação com tensão acima ou abaixo da nominal influencia significativamente o comportamento dos motores, conforme a seguir:

- na operação do motor a plena carga, a variação da tensão em apenas 10% (acima ou abaixo) normalmente resulta em diminuição do rendimento;
- na operação com tensão e carregamento inferiores aos nominais, o rendimento, na maioria dos motores, eleva-se, e a corrente de alimentação é inferior ao valor obtido para o motor operando a plena carga; e
- na operação com tensão superior e carregamento inferior ao nominal, ocorre o contrário, havendo queda acentuada do rendimento e elevação da corrente.

A substituição de motores em que os projetos e curvas características de rendimento apresentam o seu valor máximo para uma potência inferior à nominal, por outro melhor dimensionado, pode não resultar em benefícios em termos de melhoria da eficiência. A vantagem, no entanto, pode estar no fato da corrente absorvida por estes motores ser menor do que aquela correspondente ao motor sobredimensionado, reduzindo as perdas nos circuitos alimentadores.

## RECOMENDAÇÕES

Com base na análise dos resultados obtidos neste projeto, foi possível identificar algumas medidas orientativas que poderão possibilitar a melhoria da performance dos motores.

## NORMALIZAÇÃO

- Revisão da Norma NBR 5383 de 1982 da ABNT, referente a testes e especificação de motores, de forma a eliminar distorções e ambigüidades e orientar de modo claro e seguro os procedimentos para execução dos ensaios, apresentando, inclusive, um exemplo de como está sendo feito no momento por fabricantes e consumidores (como é feito pela CSA – Canadian Standards Association [9]).
- Definir claramente um método único de ensaio para a determinação do rendimento e especificação dos motores pelos fabricantes. Recomenda-se o método dos “dinamômetros com segregação de perdas”, utilizando-se dinamômetros ou transdutores de torque com medição direta de todas as perdas.
- Determinar a inclusão dos valores do rendimento, fator de potência e corrente em vazio na placa de identificação dos motores.
- Realizar revisões periódicas nas normas de testes, visando acompanhar a evolução tecnológica dos motores, equipamentos de medições mais modernos e novas metodologias de testes que surjam no mercado.

- Estabelecer valores mínimos e / ou faixa de valores para determinados parâmetros, para os motores brasileiros utilizados no país. A TABELA 14 exemplifica como a Nema [10] indica os valores nominais e mínimos para o rendimento em função da potência do motor.
- Ampliar o fórum para discussão das normas, de forma a envolverem cada vez mais técnicos e entidades que tenham interesse e possam contribuir para a melhoria de performance dos motores.

TABELA 14 - VALORES DE RENDIMENTOS NOMINAIS E MÍNIMOS CONFORME [10] EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA NOMINAL ( $P_N$ ) NO EIXO PARA MOTORES DE 2 PÓLOS ABERTOS		
$P_H$ HP	Rendimento	
	Nominal	Mínimo
1,5	80,0	77,0
2,0	82,5	80,0
3,0	82,5	80,0
5,0	85,5	82,5
7,5	85,5	82,5
10,0	87,5	85,5
15,0	89,5	87,5
20,0	90,2	88,5
25,0	91,0	89,5
30,0	91,0	89,5
40,0	91,7	90,2
50,0	91,7	90,2
60,0	93,0	91,7
75,0	93,0	91,7
100,0	93,0	91,7
125,0	93,0	91,7
150,0	93,6	92,4
200,0	93,6	92,4

## FABRICANTES

- Procurar utilizar materiais mais uniformes, com qualidade e quantidade adequadas, na fabricação dos motores, principalmente no que se refere ao aço e cobre.
- Realizar revisões nos projetos visando utilizar as curvas características de rendimento e fator de potência.
- Atualizar periodicamente os dados de catálogos de forma a refletir o mais próximo possível a realidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Avaliação do desempenho dos motores elétricos trifásicos. Relatório síntese. Efei / Eletrobrás / Procel / Cemig / Fupai;
- [2] Simões, N.W.B.; Burgoa, J.A; e Cogo, J R : Conservação de Energia em motores de indução na indústria. 1º SIDEE – Seminário Internacional de Distribuição de Energia Elétrica. Belo Horizonte. 11 a 14/11/90;
- [3] Simões, N.W.B; e Burgoa, J. A: Avaliação do desempenho de motores elétricos Induscon/92 - Conferência Internacional sobre Aplicação Industrial de Eletricidade e Exposição. São Paulo. 1º a 05/06/92;
- [4] Cogo, J.R.; Sá, j.s; e Arango, H.: Conservação de energia em motores elétricos. Seminário sobre Conservação de Energia. Cemig, Juiz de Fora, MG.1988;
- [5] Kreutzfeld, S.: Motores de alto rendimento: uma economia viável. Revista Eletricidade Moderna, out/88, pp. 30-38;
- [6] Sá, j.S.: Contribuição à análise do comportamento térmico de motores de indução trifásicos com rotor do tipo gaiola. Tese de doutorado. Unicamp;
- [7] National Electrical Manufactures Association - Nema: Standards publications energy guides for sekections of polyphase motors. 1º edição. Nº MG 10.1983;
- [8] Morgan, J.H.; Brown, W.E.; Schumer, A.J.: Reserve Rotation test for the determination of spray loss in induction machines. Transaction on Electrical Engineering. Jul/39. Vol.58, pp319-324;
- [9] Canadian Standard Association: Energy efficiency test methods for three-phase induction motors. C390. M 1985;
- [10] National Electrical Manufactures Association – Nema: Test and performance AC small and medium motors. Part 12. MG1. 1987.