

ACCIONAMENTOS EFICIENTES DE FORÇA-MOTRIZ. NOVA CLASSIFICAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Os motores eléctricos, particularmente o motor assíncrono de indução, são o tipo de máquina mais utilizada na indústria em virtude da sua grande versatilidade, gama de potências, robustez, duração, reduzida manutenção, baixa poluição, facilidade de produção e custos de aquisição relativamente baixos. Como qualquer máquina, o motor eléctrico, responsável pela conversão de energia eléctrica em mecânica, apresenta perdas. O rendimento (ou eficiência) é definido como sendo a razão entre a potência de saída (ao nível do veio de saída do accionamento) e a potência eléctrica absorvida à entrada.

A produção de energia mecânica, através da utilização de motores eléctricos, absorve cerca de 60% da energia eléctrica consumida no sector industrial do nosso País, da qual apenas metade é energia útil. Este sector é, pois, um daqueles em que é preciso tentar fazer economias, prioritariamente. Os sistemas de accionamentos têm que ser abordados como um todo, já que a existência de um componente de baixo rendimento influencia drasticamente o rendimento global.

O êxito neste domínio depende, em primeiro lugar, da melhor adequação da potência do motor à da máquina que ele acciona. Quando o regime de funcionamento é muito variável para permitir este ajustamento, pode-se equipar o motor com um conversor electrónico de variação de velocidade. Outra possibilidade é a utilização dos motores “de perdas reduzidas”, de “alto rendimento”, ou “elevada eficiência”, que permitem economias energéticas consideráveis.

Nos últimos anos, muitos fabricantes de motores investiram fortemente na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos com o objectivo de colocarem no mercado motores mais eficientes. O acordo voluntário obtido em 1999 entre a CEMEP (Associação Europeia de Fabricantes de Motores Eléctricos) e a Comissão Europeia sobre o rendimento de motores de 2 e 4 pólos, na gama de potências 1,1 a 90 kW, foi revisto em 2004.

Os motores foram classificados de acordo com o seu rendimento:

- EFF1 – Motores de alto rendimento;
- EFF2 – Motores de rendimento aumentado;
- EFF3 – Motores sem qualquer requisito especial.

No seguimento da directiva "*Eco-design Directive* (2005/32/CE) “ publicada em 2005 para Produtos que consomem energia (EUP), a Comissão Europeia aprovou em Julho de 2009 um regulamento de aplicação dos requisitos de concepção ecológica para os motores eléctricos, com efeitos a partir de meados de 2011, dando aos fabricantes de cerca de 2 anos para garantir que seus produtos cumprem a referida directiva. O lote 11 da Directiva EUP (*Energy Using Products*) descreve as orientações de design, a compatibilidade ambiental, o impacte ambiental e o consumo de energia de máquinas / motores eléctricos rotativos de alto rendimento. A directiva abrange os motores de 2, 4 e 6 pólos, na gama de potências de 0,75 a 375 kW. Neste âmbito, os motores passam a ser classificados por:

- IE1 (igual a EFF2) – com utilização proibida;
- IE2 (igual a EFF1) – com utilização obrigatória;
- IE3 (igual a Premium) – com utilização voluntária;
- IE4 (ainda não aplicável a accionamentos assíncronos).

2 CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES DE ELEVADA EFICIÊNCIA

A eficiência dos motores está associada a uma redução das suas perdas, que é conseguida à custa, quer da utilização de materiais construtivos de melhor qualidade e com melhores acabamentos, quer por alteração das suas características dimensionais. Estas perdas são devidas aos diversos elementos que estão presentes na conversão electromecânica de energia e podem ser divididas em quatro tipos:

- Perdas eléctricas;
- Perdas magnéticas;
- Perdas mecânicas;
- Perdas parasitas.

As perdas eléctricas são provocadas pela resistência não nula dos condutores das bobinas que ao serem percorridos pela corrente provocam perdas caloríficas. As perdas magnéticas ocorrem nas lâminas de ferro do estator e do rotor devido à histerese e às correntes de *Foucault*. As perdas mecânicas são provocadas pela rotação das peças móveis, ventilação e atrito do ar. As perdas parasitas são devidas a fugas e irregularidades de fluxo e, também, distribuição de corrente não uniforme.

Para melhorar a eficiência dos motores eléctricos, os construtores aumentaram a massa de materiais activos (cobre e ferro) de forma a diminuir as induções, as densidades de corrente e, assim, reduzir as perdas no cobre e no ferro. Utilizam-se chapas magnéticas de perdas mais reduzidas, entalhes especiais em certos casos e reformulou-se a parte mecânica, com especial incidência sobre a ventilação, para reduzir a potência absorvida por esta e diminuir o nível de ruído. Daí resulta, para idêntica dimensão, um aumento de peso da ordem de 15%, e de preço da ordem de 20 a 25%.

Contudo, a melhoria da eficiência, compreendida entre 2 e 4,5%, e do $\cos\phi$, permite amortizar rapidamente este aumento de preço.

As melhorias típicas que são efectuadas a nível construtivo da máquina podem ser visualizadas na Figura 1 e são resumidas na seguinte tabela:

Tab. 1 – Resumo das alterações nos motores de elevada eficiência

Alteração Efectuada	Efeito produzido
Tratamento térmico do rotor	Redução da resistência
Uso de ferro laminado por camada	Redução das perdas no ferro
Melhoria do circuito magnético	Redução das perdas no ferro
Redução das bobinas do circuito indutor	Redução das perdas por efeito de Joule
Melhor qualidade dos rolamentos	Redução das perdas mecânicas
Maior quantidade de cobre	Diminuição de perdas e do calor gerado
Redução do entre-ferro	Diminuição das perdas parasitas
Rotor mais largo	Reactância de fugas menor
Sistema de ventilação melhorado	Diminuição de ruídos e da temperatura

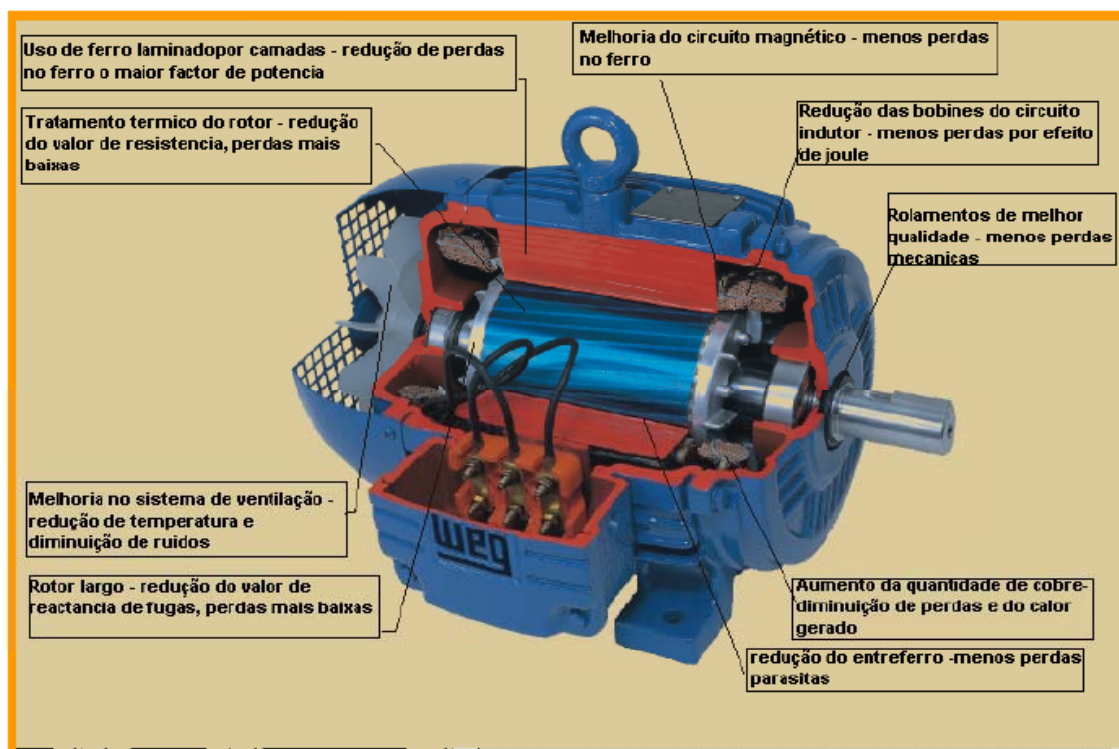


Figura 1 – Alterações nos motores para obter elevada eficiência [WEG]

Apesar de este tipo de motores possuir uma eficiência melhorada, quando inseridos num sistema, a eficiência total do mesmo sistema depende de todos os outros componentes que o compõem. Por este motivo, não se deve apenas investir na compra de um motor de elevada eficiência, quando existirem problemas de eficiência nos outros componentes do sistema.

3 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Na Europa a classificação dos motores de corrente alternada de baixa tensão, foi estabelecida em 1998 com o acordo voluntário dos principais fabricantes de motores Europeus. De uma forma resumida, o acordo estabelecido entre a Comissão Europeia (CE) e o Comité Europeu de Fabricantes de Máquinas Eléctricas e de equipamentos e sistemas de Electrónica de Potência (CEMEP) definia que os motores de

1,1 a 90 kW de potência nominal, 50 ou 60 Hz, com 2 e 4 pólos magnéticos, seriam classificados de acordo com os valores dos respectivos rendimentos.

As classes de rendimento estabelecidas foram as seguintes:

- EFF1: Motores de elevado rendimento;
- EFF2: Motores de rendimento melhorado;
- EFF3: Motores de rendimento normal.

No acordo CE/CEMEP ficou ainda estabelecido que as vendas, na União Europeia, de motores EFF3 diminuiriam para metade até 2003.

Este objectivo foi alcançado e a venda de motores EFF3 terminou pouco tempo depois.

Todos os fabricantes que assinaram este acordo ficaram autorizados a colocar a etiqueta de eficiência nos motores e em toda a documentação que os acompanhe, o que tornou mais fácil a identificação da classe do motor.

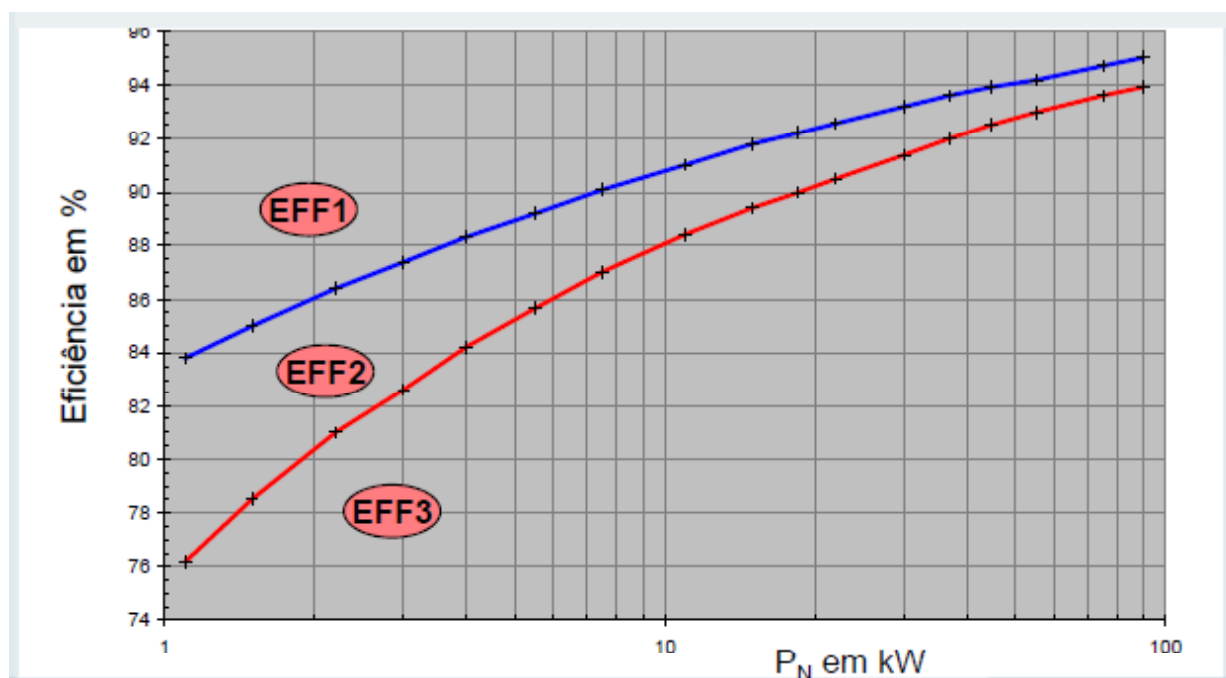


Figura 2 – Classes de eficiência de motores [SEW-Eurodrive]



Figura 3 – Etiquetas de eficiência dos motores

Com base no acordo voluntário anteriormente referido, foi também criada uma base de dados europeia EuroDEEM, que foi elaborada pelo centro de pesquisa da Comissão Europeia (CE/JRC), com o objectivo de reunir num só suporte as informações mais importantes sobre os motores eléctricos disponíveis no mercado. A tabela 2 apresenta os valores limite para a eficiência dos motores, estabelecidos no acordo com a CEMEP com base na norma CEI 60034-2.

equipamentos de força-motriz. Este novo regime abrange os motores de indução trifásicos, de velocidade simples, até 375 kW. Entrará em vigor em três fases a partir de meados de 2011. Sob este novo regime os fabricantes são obrigados a apresentar a classe e valores de eficiência do motor na respectiva chapa de características e na documentação do produto, que deve indicar claramente o método de teste usado na determinação da eficiência.

Tabela 2 – Definição das diversas classes de eficiência. Standard de 1996

kW	EFF3 2 e 4 pólos η_n (%)	EFF2 2 e 4 pólos η_n (%)	EFF1 2 pólos η_n (%)	EFF1 4 pólos η_n (%)
1,1	<76,2	\geq 76,2	\geq 82,2	\geq 83,8
1,5	<78,5	\geq 78,5	\geq 84,1	\geq 85,0
2,2	<81,0	\geq 81,0	\geq 85,6	\geq 86,4
3	<82,6	\geq 82,6	\geq 86,7	\geq 87,4
4	<84,2	\geq 84,2	\geq 87,6	\geq 88,3
5,5	<85,7	\geq 85,7	\geq 88,6	\geq 89,3
7,5	<87,0	\geq 87,0	\geq 89,5	\geq 90,1
11	<88,4	\geq 88,4	\geq 90,5	\geq 91,0
15	<89,4	\geq 89,4	\geq 91,3	\geq 91,8
18,5	<90,0	\geq 90,0	\geq 91,8	\geq 92,2
22	<90,5	\geq 90,5	\geq 92,2	\geq 92,6
30	<91,4	\geq 91,4	\geq 92,9	\geq 93,2
37	<92,0	\geq 92,0	\geq 93,3	\geq 93,6
45	<92,5	\geq 92,5	\geq 93,7	\geq 93,9
55	<93,0	\geq 93,0	\geq 94,0	\geq 94,2
75	<93,6	\geq 93,6	\geq 94,6	\geq 94,7
90	<93,9	\geq 93,9	\geq 95,0	\geq 95,0

4 NOVAS NORMAS PARA CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A União Europeia, através do organismo EU MEPS (*European Minimum Energy Performance Standard*), definiu um novo regime obrigatório para os níveis mínimos de eficiência dos motores eléctricos que sejam introduzidos no mercado europeu. O objectivo visa reduzir o consumo de energia e outros impactos ambientais negativos de produtos que consomem energia eléctrica. Ao mesmo tempo, pretende-se melhorar a uma escala global o nível de harmonização regulamentar em assuntos relacionados com a eficiência em

V	Hz	kW	r/min	A	cos ϕ	Duty
690 Y	50	160	1487	165	0,85	S1
400 D	50	160	1487	284	0,85	S1
415 D	50	160	1488	277	0,84	S1

Figura 4 – Chapa de características de motor ABB, de acordo com as novas normas

O organismo EU MEPS baseia-se em duas normas CEI. A norma CEI/EN 60034-2-1, disponível desde Setembro de 2007, introduz novas regras relativas aos métodos de teste que devem ser usados na determinação das perdas e da eficiência dos motores eléctricos.

A norma CEI/EN 60034-30, disponível desde Outubro de 2008, especifica as classes de eficiência que devem ser adoptadas.

A norma CEI/EN 60034-2-1:2007 define duas formas de determinar a eficiência dos motores eléctricos, o método directo e os métodos indirectos. A norma especifica os seguintes parâmetros para determinar a eficiência pelo método indirecto:

- Temperatura de referência;
- Três opções para determinar as perdas adicionais em carga: medição, estimativas e cálculo matemático.

Os valores de eficiência resultantes diferem daqueles obtidos sob o padrão anterior de teste baseados na norma CEI/EN 60034-2:1996.

Deve-se notar que os valores de eficiência só são

comparáveis se forem medidos utilizando o mesmo método.

A norma CEI/EN 60034-30:2008 define três classes de eficiência IE (*International Efficiency*) para motores assíncronos de indução trifásicos, rotor em gaiola de esquilo, e velocidade simples:

- IE1: Eficiência Standard (EFF2 do antigo sistema Europeu de classificação)
- IE2: Eficiência Elevada (EFF1 do antigo sistema Europeu de classificação e idêntica à EAct nos EUA para motores de 60Hz)
- IE3: Eficiência Premium (idêntica ao "NEMA Premium" nos E.U.A. para motores de 60Hz)
- IE4: futuramente o nível de eficiência superior a IE3

Os níveis de eficiência definidos na norma CEI/EN 60034-30:2008 baseiam-se em métodos de ensaio especificados na norma CEI/EN 60034-2-1:2007.

Comparando com as anteriores classes de rendimento Europeias, definidas pelo acordo CEMEP (norma CEI/EN 60034-2:1996), o leque foi ampliado.

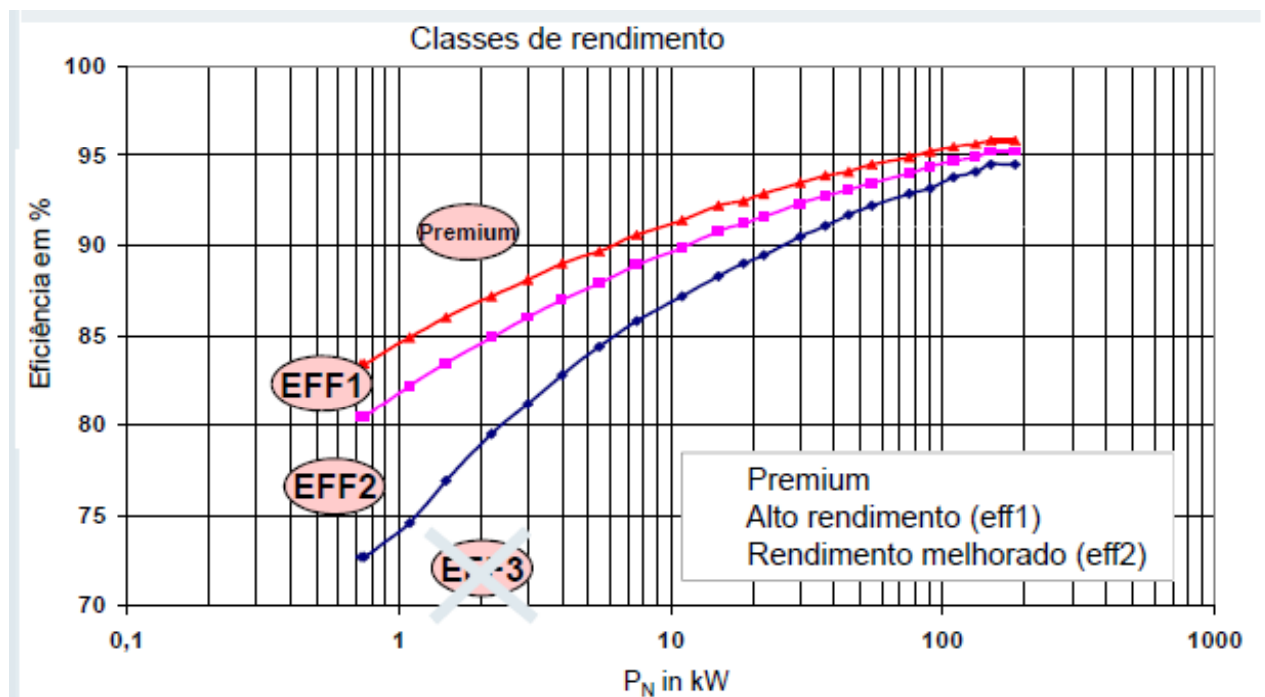


Figura 5 – Novas classes de eficiência de motores [SEW-Eurodrive]

A norma CEI/EN 60034-30 abrange quase todos os motores (por exemplo: motores standard, motores para ambientes perigosos, motores para embarcações e marinas, motores usados como freio), nomeadamente:

- Motores de velocidade simples, trifásicos, 50 Hz e 60 Hz
- Motores de 2, 4 ou 6 pólos
- Motores com potência nominal entre 0,75 - 375 kW
- Motores de tensão nominal até 1000 V
- Motores do tipo Duty S1 (funcionamento em contínuo) ou S3 (funcionamento intermitente ou periódico) com um factor de duração cíclica nominal de 80 por cento ou superior.

Os motores que estão excluídos das normas CEI/EN 60034-30 são os seguintes:

- Motores feitos exclusivamente para funcionarem como conversores.

- Motores feitos exclusivamente para funcionarem imersos em líquidos.
- Motores totalmente integrados em máquinas que não podem ser testados separadamente da máquina (por exemplo, bombas, ventiladores ou compressores).
- Motores especificamente concebidos para funcionarem a altitudes superiores a 1000 metros. Onde as temperaturas do ar possam ultrapassar os 40 °C. Em temperaturas máximas superiores a 400 °C. Onde a temperatura ambiente for inferior a -15 °C (qualquer motor) ou inferior a 0 °C (motores refrigerados a ar). Onde a temperatura da água de arrefecimento na entrada de um produto é inferior a 5 °C ou superior a 25 °C. Em atmosferas potencialmente explosivas, tal como definido na Directiva 94/9/CE.

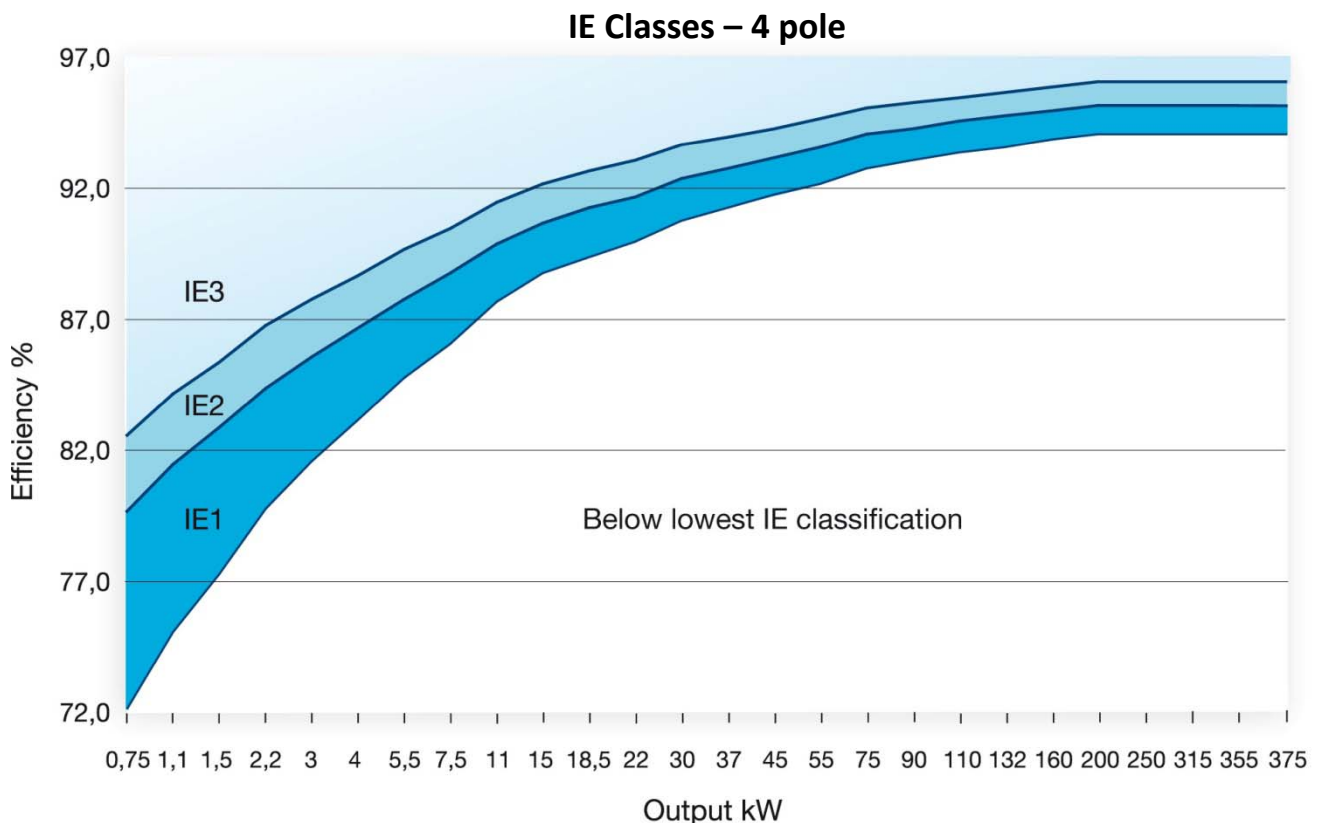


Figura 6 – Novas classes IE de eficiência de motores eléctricos

Na tabela 3 apresenta-se os valores limite para a eficiência dos motores com base na norma CEI 60034-30:2008, e CEI/EN 60034-2-1.

Tabela 3– Definição das diversas classes de eficiência Normas CEI 60034-30:2008, e CEI/EN 60034-2-1 [ABB]

Out-put kw	IE1 Standard efficiency			IE2 High efficiency			IE3 Premium efficiency		
	2 pole	4 pole	6 pole	2 pole	4 pole	6 pole	2 pole	4 pole	6 pole
0.75	72.1	72.1	70.0	77.4	79.6	75.9	80.7	82.5	78.9
1.1	75.0	75.0	72.9	79.6	81.4	78.1	82.7	84.1	81.0
1.5	77.2	77.2	75.2	81.3	82.8	79.8	84.2	85.3	82.5
2.2	79.7	79.7	77.7	83.2	84.3	81.8	85.9	86.7	84.3
3	81.5	81.5	79.7	84.6	85.5	83.3	87.1	87.7	85.6
4	83.1	83.1	81.4	85.8	86.6	84.6	88.1	88.6	86.8
5.5	84.7	84.7	83.1	87.0	87.7	86.0	89.2	89.6	88.0
7.5	86.0	86.0	84.7	88.1	88.7	87.2	90.1	90.4	89.1
11	87.6	87.6	86.4	89.4	89.8	88.7	91.2	91.4	90.3
15	88.7	88.7	87.7	90.3	90.6	89.7	91.9	92.1	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	90.9	91.2	90.4	92.4	92.6	91.7
22	89.9	89.9	89.2	91.3	91.6	90.9	92.7	93.0	92.2
30	90.7	90.7	90.2	92.0	92.3	91.7	93.3	93.6	92.9
37	91.2	91.2	90.8	92.5	92.7	92.2	93.7	93.9	93.3
45	91.7	91.7	91.4	92.9	93.1	92.7	94.0	94.2	93.7
55	92.1	92.1	91.9	93.2	93.5	93.1	94.3	94.6	94.1
75	92.7	92.7	92.6	93.8	94.0	93.7	94.7	95.0	94.6
90	93.0	93.0	92.9	94.1	94.2	94.0	95.0	95.2	94.9
110	93.3	93.3	93.3	94.3	94.5	94.3	95.2	95.4	95.1
132	93.5	93.5	93.5	94.6	94.7	94.6	95.4	95.6	95.4
160	93.7	93.8	93.8	94.8	94.9	94.8	95.6	95.8	95.6
200	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
250	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
315	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
355	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8

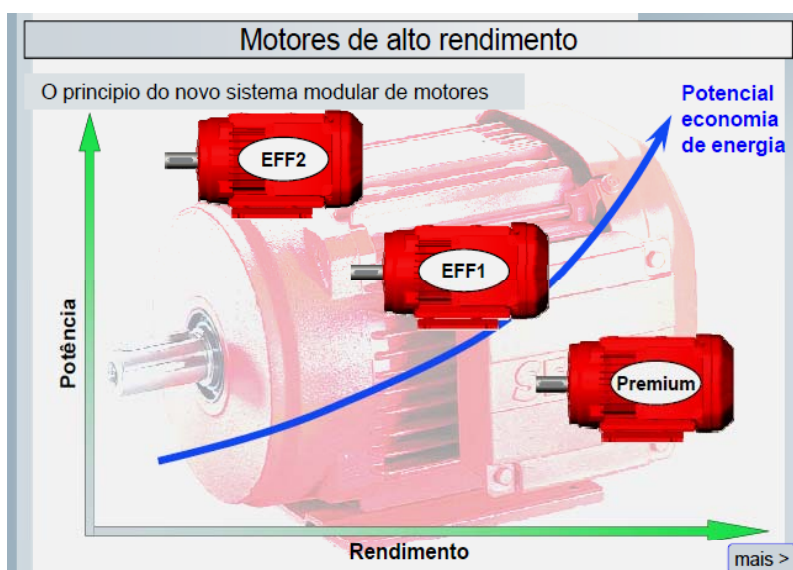


Figura 7 – Variação do rendimento com a potência. [SEW-Eurodrive]

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de energia mecânica, através da utilização de motores eléctricos, absorve cerca de 60% da energia eléctrica consumida no sector industrial do nosso País, da qual apenas metade é energia útil. Este sector é, pois, um daqueles em que é preciso tentar fazer economias, prioritariamente. Os sistemas de accionamentos electromecânicos têm que ser abordados como um todo, já que a existência de um componente de baixo rendimento influencia drasticamente o rendimento global. Os pontos fundamentais em que se deve intervir são os seguintes:

- Dimensionar correctamente os equipamentos de força motriz, fazendo os motores funcionar com cargas da ordem dos 70 a 80%.
- Adaptar a velocidade do motor às necessidades do processo, utilizando sempre que necessário dispositivos electrónicos de variação de velocidade.
- Atender às necessidades de manutenção dos motores, que são essencialmente a limpeza da carcaça, a fim de reduzir a temperatura, e nalguns casos a lubrificação dos rolamentos.
- Utilizar os novos motores de “alto rendimento”, que já provaram a sua competitividade apesar do seu custo superior, devendo-se ponderar sempre que necessário a sua utilização.

A União Europeia, através do organismo EU MEPS (*European Minimum Energy Performance Standard*) definiu um novo regime obrigatório para os níveis mínimos de eficiência dos motores eléctricos que sejam introduzidos no mercado europeu. O novo regime abrange motores de indução trifásicos até 375 kW, de velocidade simples. Entrará em vigor em três fases a partir de meados de 2011. Sob este novo regime os fabricantes são obrigados a apresentar os valores IE (*International Efficiency*) classe de eficiência nas placas do motor e na documentação do produto.

O organismo EU MEPS assenta em duas normas CEI. A norma CEI/EN 600034-2-1, disponível desde Setembro de 2007, introduz novas regras relativas aos métodos de teste que devem ser usados na determinação das perdas e da eficiência dos motores eléctricos. A norma CEI/EN 600034-30, disponível desde Outubro de 2008, especifica as classes de eficiência que devem ser adoptadas. De acordo com estas normas os motores passam a ser classificados por:

- IE1 (equivalente a EFF2 na norma CEI/EN 600034-2:1996)
 - com utilização proibida;
- IE2 (equivalente a EFF1 na norma CEI/EN 600034-2:1996)
 - com utilização obrigatória;
- IE3 (Premium) – com utilização voluntária;
- IE4 (ainda não aplicável a accionamentos assíncronos).

Os motores de eficiência (IE1) não podem ser colocados no mercado europeu a partir de 16 de Junho de 2011. Até aquela data todos os novos motores em avaliação na Europa terão de cumprir a eficiência IE2.

As regras não se aplicam fora da Europa. Por isso, será possível que os fabricantes produzam motores com eficiência IE1 para os mercados que não exijam estes requisitos mínimos de eficiência.

A conformidade com os padrões de eficiência exigidos é verificada por ensaios. Cabe a cada estado membro da UE a vigilância relativa aos procedimentos de verificação e implementação das normas.

A implementação das novas normas em cada estado membro de EU será realizada em três fases:

- Fase 1: até 16 de Julho de 2011. Todos os motores devem satisfazer o nível de eficiência IE2;
- Fase 2: até 1 de Janeiro de 2015. Todos os motores com uma potência nominal entre 7,5 - 375 kW devem satisfazer o nível de eficiência IE3 ou o nível IE2 se equipados com um variador electrónico de velocidade;
- Fase 3: até 1 de Janeiro de 2017. Todos os motores com uma potência nominal entre 0,75-375 kW devem satisfazer o nível de eficiência IE3 ou o nível IE2 se equipados com um variador electrónico de velocidade.

Bibliografia

- [1] BELEZA CARVALHO, J. A., MESQUITA BRANDÃO, Eficiência Energética em Equipamentos de Força Motriz. Jornadas Luso-Brasileiras de Ensino e Tecnologia em Engenharia. ISEP, Porto, Fevereiro de 2009.
- [2] BELEZA CARVALHO, J. A., MESQUITA BRANDÃO, R. F., *Efficient Use of Electrical Energy in Industrial Installations. 4TH European Congress Economics and Management of Energy in Industry*. Porto, Novembro de 2007.
- [3] CARLOS GASPAS, Eficiência Energética na Indústria-ADENE, Cursos de Utilização Racional de Energia, 2004.
- [4] BELEZA CARVALHO, J. A., MESQUITA BRANDÃO, R. F. Eficiência Energética em Equipamentos de Força-Motriz. Revista Neutro à Terra Nº 3, Abril de 2009.
- [5] ABB, *Low Voltage Industrial Performance Motors*. Catálogo ABB 2009.
- [6] WEG, Catálogo de Motores Eléctricos, disponível em <http://www.weg.com.br/>