

Gestão de Energia

9.5 Força motriz

Força motriz

- ❑ Na União Europeia, cerca de 69% da eletricidade consumida na indústria é devida a motores elétricos
- ❑ No setor de serviços esta percentagem é de 36%
- ❑ Os motores de indução representam cerca de 90% do consumo de energia em força motriz

Força motriz

☐ Principais tipos de aplicação

- ☐ Bombas
- ☐ Compressores de Ar
- ☐ Ventiladores
- ☐ Moinhos
- ☐ Misturadores
- ☐ Elevadores
- ☐ Tapetes rolantes
- ☐ Eletrodomésticos
- ☐ ...

Força motriz

- ❑ Razões para a elevada utilização de motores elétricos:
 - ❑ Grande versatilidade de aplicação
 - ❑ Gama alargada de potências
 - ❑ Elevado rendimento
 - ❑ Robustez
 - ❑ Tempo médio de vida útil elevado
 - ❑ ...

Força motriz

☐ Causas comuns de ineficiência

- ☐ Processos de reparação
- ☐ Sistemas de transmissão
- ☐ Estratégias de arranque
- ☐ Equipamentos sobredimensionados
- ☐ Reduzidos fatores de potência
- ☐ Qualidade da onda de tensão
- ☐ Excentricidade
- ☐ Equipamentos de reduzido rendimento
- ☐ Cargas variáveis mal utilizadas

Força motriz

- ❑ **Ineficiências resultantes do processo de reparação**
 - ❑ Sobreaquecimento do núcleo ferromagnético (deterioração do isolamento por contaminação das chapas magnéticas)
 - ❑ Incorreta re-bobinagem (número de espiras, secção dos condutores)
 - ❑ Instalação incorreta do ventilador
 - ❑ Excentricidade do veio

Força motriz

❑ Estratégias de arranque

- ❑ A corrente de arranque dos motores de indução pode atingir 5 a 8 vezes o valor da corrente em regime nominal (à plena carga)
- ❑ A potência absorvida à rede no período de arranque é, por conseguinte, elevada (e tb. o consumo de energia). Do ponto de vista da factura de e.e. este efeito é agravado com o arranque simultâneo dos motores de uma instalação
- ❑ O arranque suave de motores permite evitar picos de potência absorvida à rede (com consequente diminuição das parcelas de potência) e os consumos energéticos neste período

Força motriz

❑ Sistemas de transmissão mecânica

❑ A transferência de potência entre o motor e a carga é realizada por intermédio de sistemas mecânicos que podem ser:

❑ Acoplamentos directos

- + mais económicos;
- + menores perdas;
- o motor e carga têm de rodar à mesma velocidade.

❑ Correias com polias de diâmetro variável

- + ajuste fácil da velocidade do motor à velocidade da carga;
- + permite diferentes geometrias de implantação entre motor e carga;
- perdas inerentes à transmissão, dependendo do tipo de correias.

Força motriz

❑ Tipos de correias

❑ Correias planas

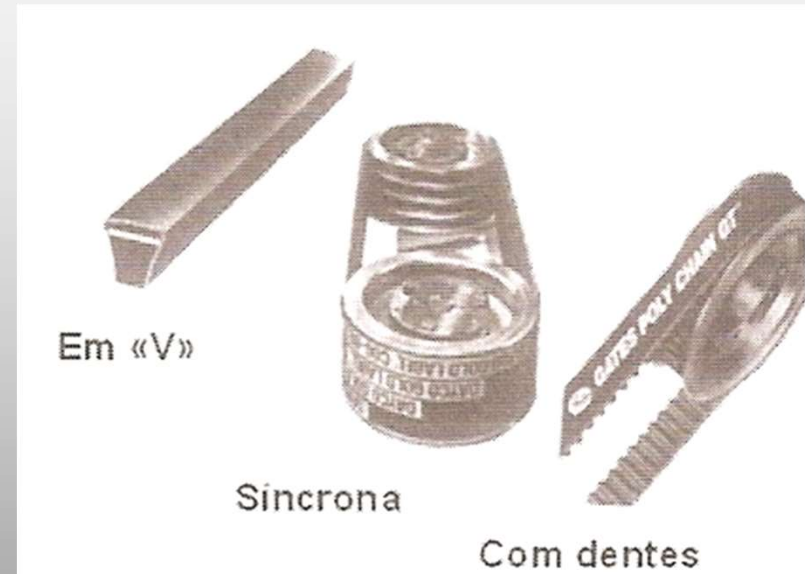
- ❑ Elevadas perdas por escorregamento;
- ❑ Pouco eficientes.

❑ Correias de secção trapezoidal (em V)

- ❑ Mais eficientes (mas pouco!);
- ❑ Solução mais vantajosa em termos económicos.

❑ Correias dentadas

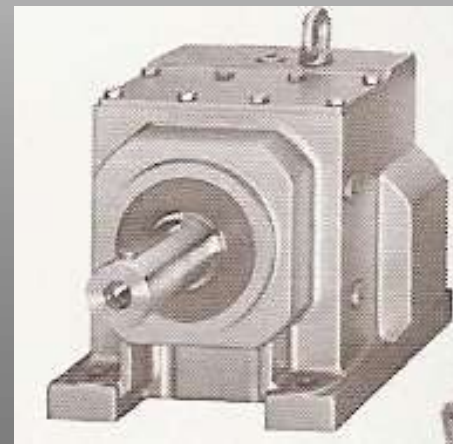
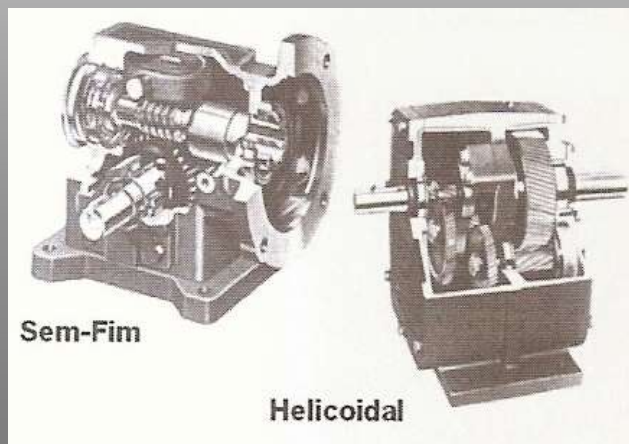
- ❑ Perdas praticamente nulas, garantem uma boa eficiência;
- ❑ Custo elevado (investimento apenas vantajoso para motores de média e elevada potência).



Força motriz

❑ Transmissões hidráulicas e engrenagens

- ❑ São tipicamente utilizadas em cargas que requerem velocidades baixas (inferiores a 1200 r.p.m.) e binários elevados (a utilização de correias poderia conduzir a escorregamentos)
- ❑ Engrenagens: rendimentos variam entre os 50 e os 96%
- ❑ Transmissão hidráulica: rendimento elevado

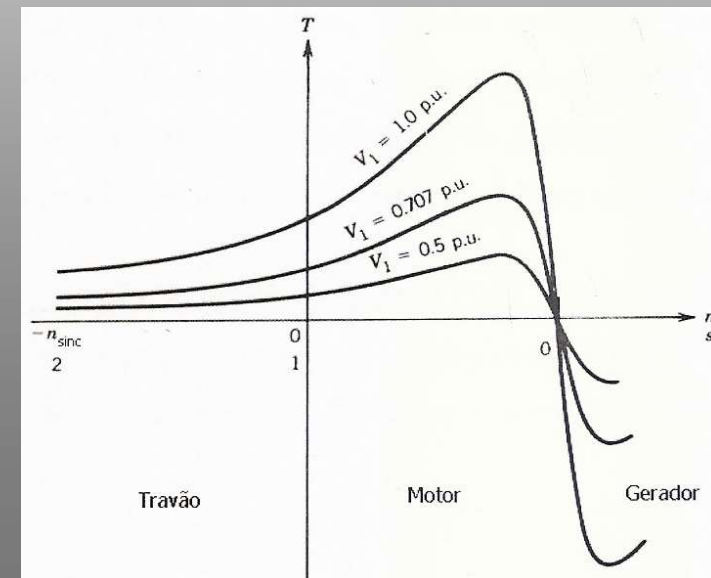


Força motriz

❑ Estratégias de arranque

- ❑ Auto-transformador¹
- ❑ Comutador Estrela – Triângulo¹
- ❑ Dispositivos de Eletrônica de Potência (exemplo dos VEV's)

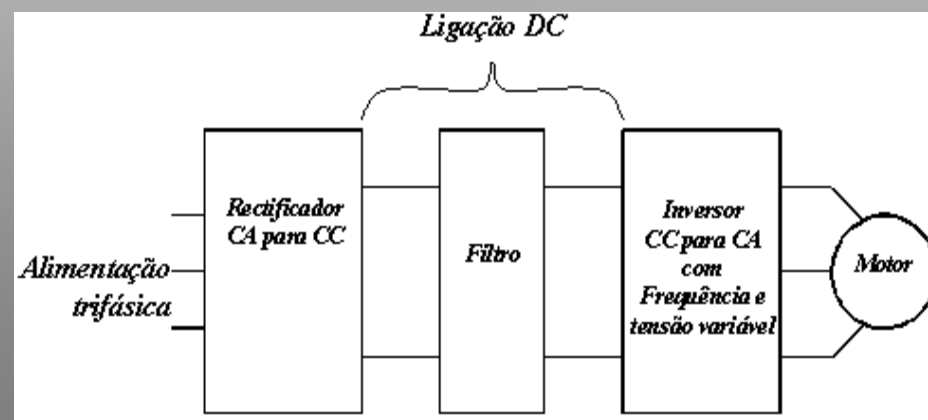
¹As estratégias de redução da tensão de alimentação para além de limitarem a corrente de arranque diminuem, igualmente, o binário de arranque desenvolvido pela máquina, pelo que deverão ser adequadamente utilizadas



Força motriz

❑ Estratégias de arranque (VEV)

- ❑ Os VEVs convertem a tensão da rede de 50 Hz numa tensão contínua e em seguida numa tensão com frequência variável (0 a 150 Hz) sob controlo externo do utilizador que pode ir de 0 a 150 Hz consoante o tipo de aplicações.



Força motriz

❑ Controlo de caudais

- ❑ **Método convencional:** dispositivo mecânico regulável (válvulas, persianas,...) na conduta de circulação do fluído que cria um estrangulamento desperdiçando a potência disponibilizada pela bomba ou ventilador
- ❑ **Método de ajuste apenas a 2 ou 3 posições da válvula:** a instalação de um sistema de polias de diâmetro variável permite ajustar a velocidade de escoamento sem necessidade de estrangulamento mecânico resultando em poupanças de energia
- ❑ **Método de controlo por VEV:** ideal para situações em que existam frequentes variações de caudal. Ao atuar na frequência de alimentação do motor o VEV permite ajustar diretamente a potência do motor às solicitações da carga. Para além das poupanças de energia que daí resultam, permite também o arranque suave de motores.

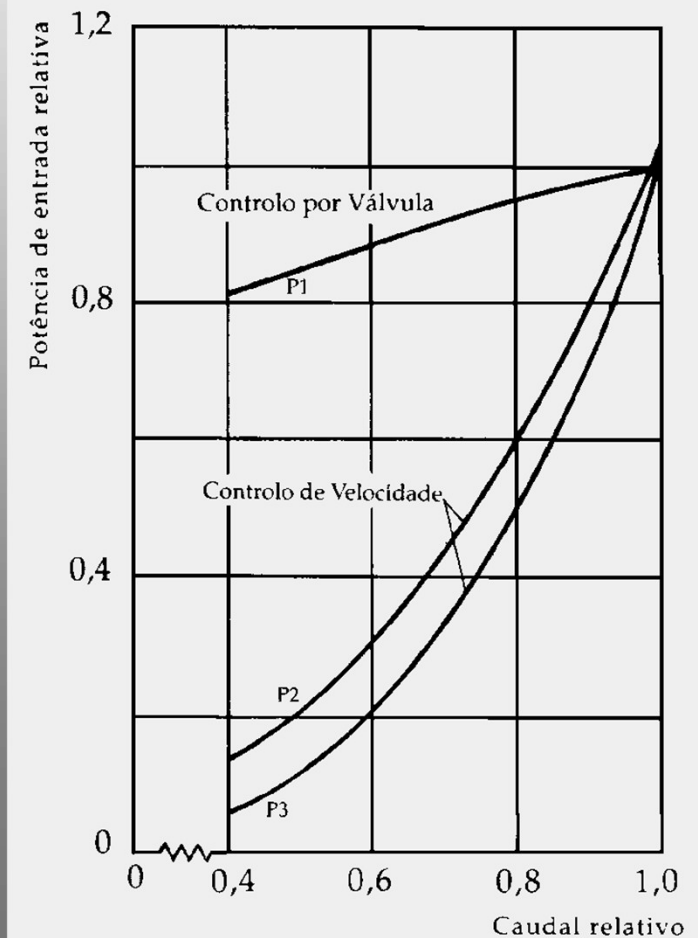
Força motriz

□ VEV: controlo de caudais

P1- Controlo por válvula

P2- Controlo de velocidade incluindo perdas no VEV

P3- Controlo de velocidade sem perdas no VEV



Força motriz

□ VEV: Avaliação económica

- Determinação do diagrama de carga
- Para cada regime de carga contabilizar a redução de potência face à utilização de válvulas

$$Poupan\c{c}a = \sum_{i=1}^n (P_i^{v\acute{a}lvula} - P_i^{VEV}) \times T_i \times C_E$$

□ Sendo,

- $P_i^{V\acute{a}lvula}$ – potência aquando da utilização de válvulas no regime de carga i [kW];
- P_i^{VEV} – potência aquando da utilização do VEV no regime de carga i [kW];
- T_i – duração anual de cada regime de carga [h];
- C_E – custo da energia [€/kWh].

- Nota: Se o nº de regimes de carga forem reduzidos (4 ou menos) poderá ser vantajoso considerar motores com várias velocidades

Força motriz

❑ Dimensionamento de motores

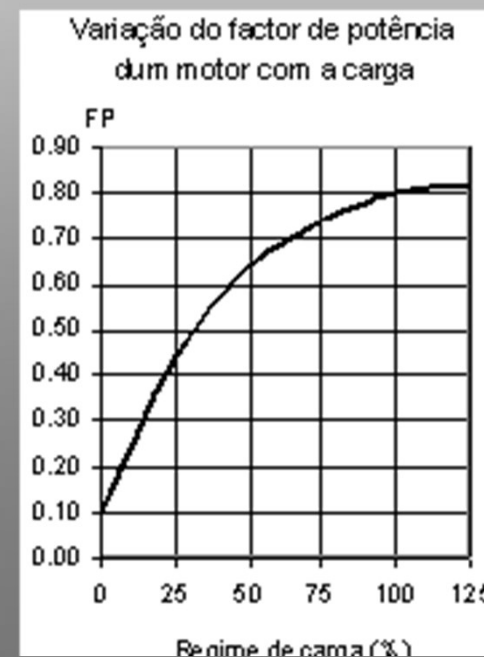
- ❑ É importante operar os motores próximo da região óptima de rendimento da máquina

	Motor de 30 kW	Motor de 55 kW
Regime de carga [%]	80	44
Rendimento	88	78
Factor de potência [%]	0,87	0,73
Potência absorvida [kW]	27,3	30,8
Energia consumida [MWh/ano]	122,7	138,5
Encargo de energia [110 €/MWh]	13,499	15,232
Economia de Energia [€/ano]	1 733	

Força motriz

❑ Fator de potência

- ❑ Ao realizar a compensação local do F.P. contribui positivamente para a redução das perdas na rede elétrica da instalação
- ❑ Este é igualmente um fator que depende do adequado dimensionamento da máquina

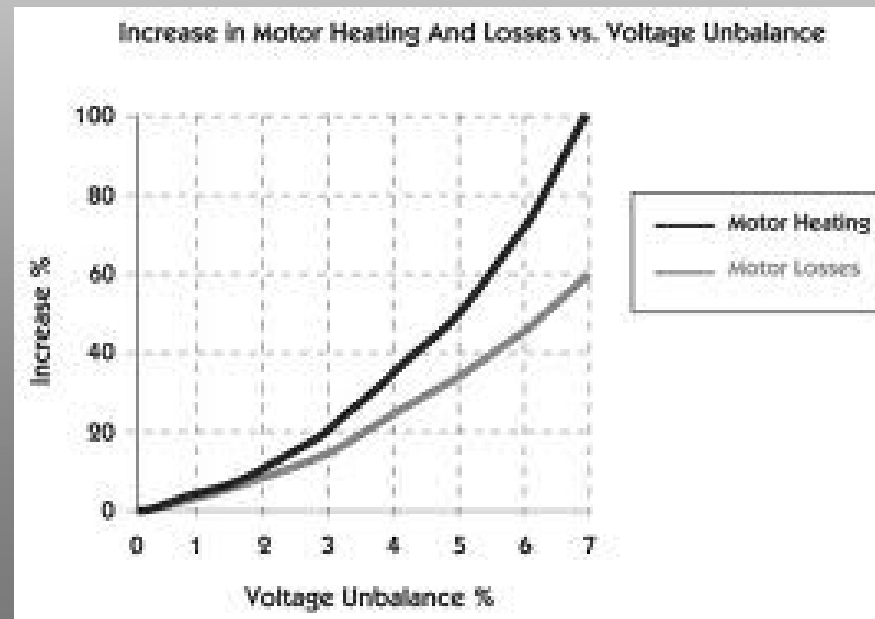


Força motriz

- ❑ Qualidade da onda de tensão
 - ❑ Variações de tensão: tensão reduzida
 - ❑ Redução da potência efetiva desenvolvida pelo motor
 - ❑ Reduzido binário de arranque
 - ❑ Redução do fator de potência da máquina
 - ❑ Ao tentar acionar a carga o motor experimentará uma situação de sobrecarga, requerendo assim mais corrente e, sobreaquecendo
 - ❑ Desvios máximos toleráveis: 5%
 - ❑ Harmónicos, transitórios, amplitude, frequência, ..., influenciam também negativamente o rendimento do motor

Força motriz

- ❑ Qualidade da onda de tensão
 - ❑ Desequilíbrio de fases
 - ❑ Sobreaquecimento e aumento das vibrações de motores e transformadores
 - ❑ Desequilíbrios de 2% poderão originar perdas de 10%

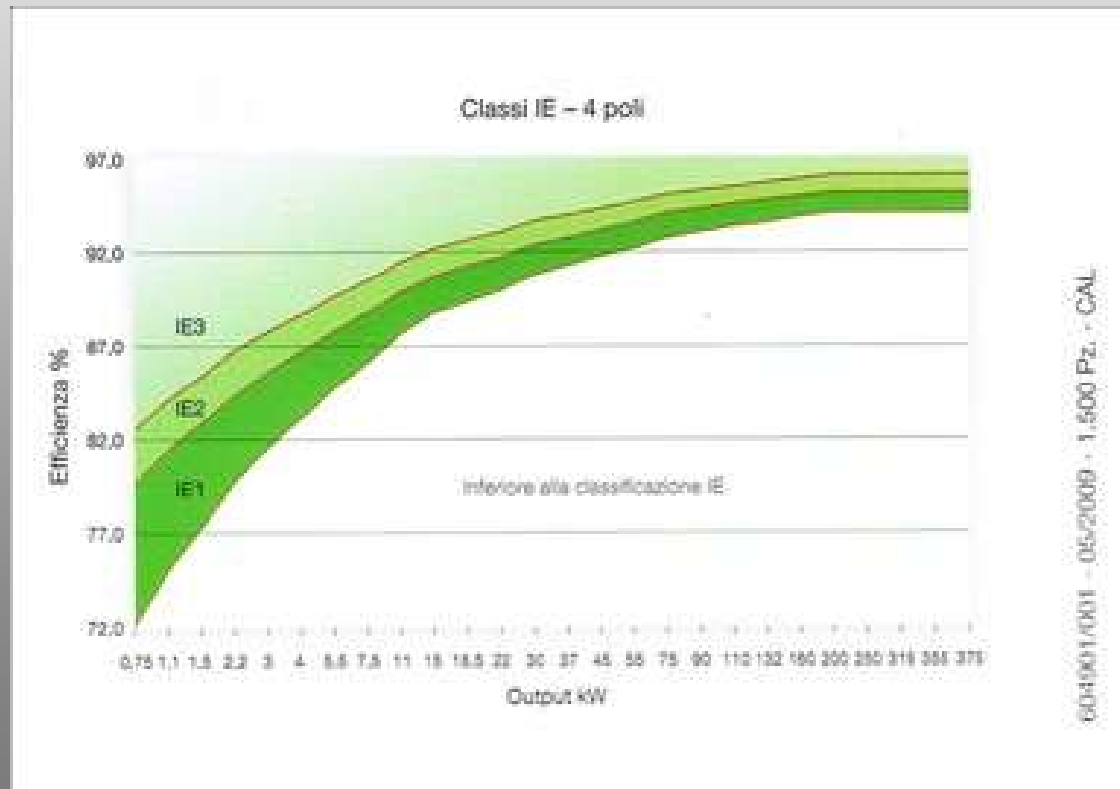


Força motriz

- ❑ Desalinhamento do veio: excentricidade
 - ❑ Maior consumo de energia
 - ❑ Redução da vida útil dos rolamentos
 - ❑ Maior desgaste das vedações com consequente risco de contaminação e vazamento do lubrificante
 - ❑ Diminuição da disponibilidade da máquina e respectivo tp. de funcionamento
 - ❑ Maior desgaste dos acoplamentos mecânicos

Força motriz

- ❑ Motores de elevado rendimento (EEMs)
 - ❑ Norma IEC 60034-30



IE4: super Premium
IE3: Premium
IE2: Alto
IE1: Standard

Força motriz

- ❑ Motores standard vs motor de elevado rendimento

kW	Standard		Alto rendimento	
	Rendimento (%)	cos ϕ	Rendimento (%)	cos ϕ
1.1	72	0.79	75.5	0.83
3	78	0.82	83	0.84
7.5	84	0.82	88	0.85
15	88	0.80	89	0.88
30	88	0.86	91.5	0.88
75	92	0.84	94.5	0.86
90	92	0.83	94.5	0.86

Força motriz

❑ **Vantagens dos EEMs**

- ❑ Economia de energia (menores perdas ativas e maior FP)
- ❑ Maior vida útil (temperatura de operação mais reduzida)
- ❑ Maior fiabilidade
- ❑ Mais silenciosos devido à menor potência de ventilação requerida
- ❑ Suportam melhor as variações de tensão
- ❑ Suportam melhor os harmónicos

❑ **Desvantagens**

- ❑ Diminuição do binário e binário de arranque
- ❑ Maior volume
- ❑ Mais dispendiosos
- ❑ Maior velocidade (para a mesma carga)

Força motriz

❑ Avaliação económica dos EEMs

$$Poupança = \left(\frac{1}{\eta_{Std}} - \frac{1}{\eta_{EEM}} \right) \times P_N \times N \times C_E \quad [€/ano]$$

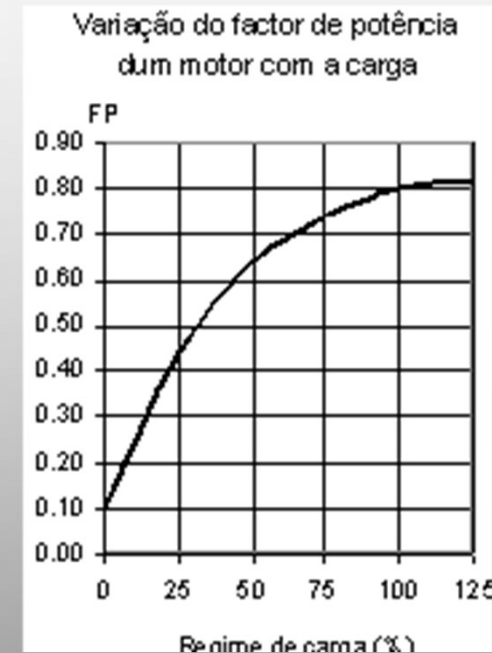
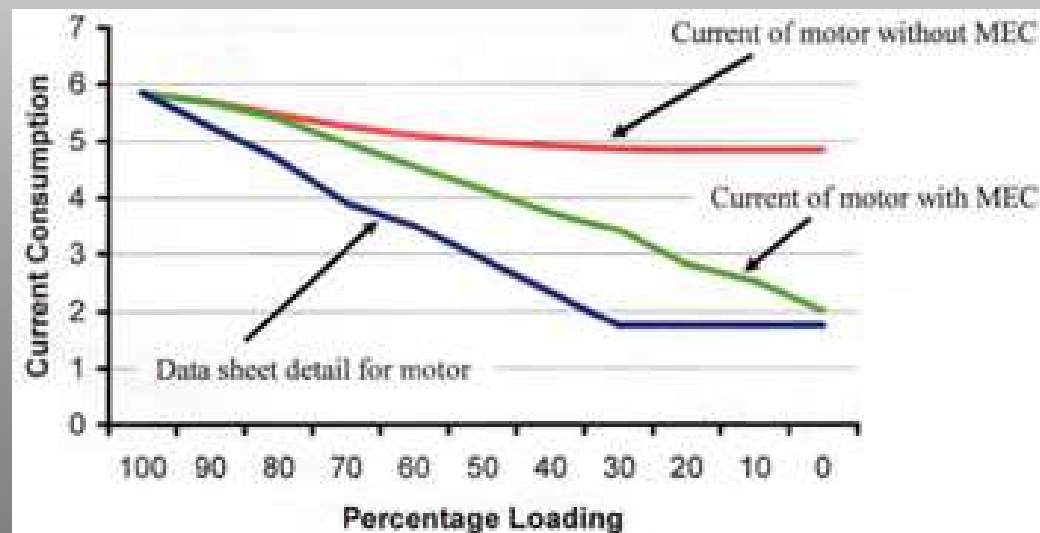
❑ Sendo,

- ❑ η_{std} - rendimento do motor *standard*;
- ❑ η_{EEM} - rendimento do motor de alto rendimento;
- ❑ P_N - Potência nominal do motor [kW];
- ❑ N - Número de horas de funcionamento anuais;
- ❑ C_E - Custo da energia [€/kWh];

Força motriz

❑ Regulação de tensão vs. força motriz

- ❑ VEV??? ... uma aplicação distinta... a vel. é constante...
- ❑ Arrancador suave (*soft start*);
- ❑ Controlo de operação (energia).



F.P. ⇔ regime de carga

Corrente absorvida por um dado motor em função da carga e do tipo de controlo



+ Questões ?