

### **Velocidade síncrona ( $n_s$ )**

A velocidade síncrona do motor é definida pela velocidade de rotação do campo girante, a qual depende do número de pólos (p) do motor e da freqüência (f) da rede, em hertz.

Os enrolamentos podem ser construídos com um ou mais pares de pólos, que se distribuem alternadamente (um "norte" e um "sul") ao longo da periferia do núcleo magnético. O campo girante percorre um par de pólos (p) a cada ciclo. Assim, como o enrolamento tem pólos ou "p" pares de pólos, a velocidade do campo será:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{pp} = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (\text{rpm})$$

PP = Pares de pólos      P = número de pólos

## **Escorregamento**

$$s \text{ (rpm)} = n_s - n ; s = \frac{n_s - n}{n_s} ; s \% = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100$$

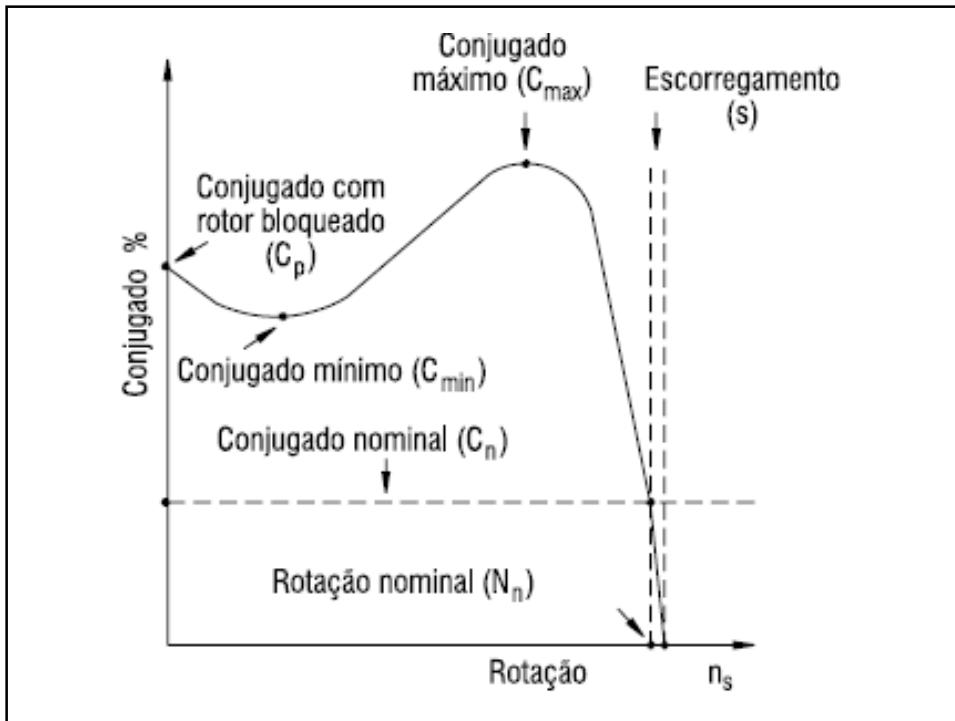
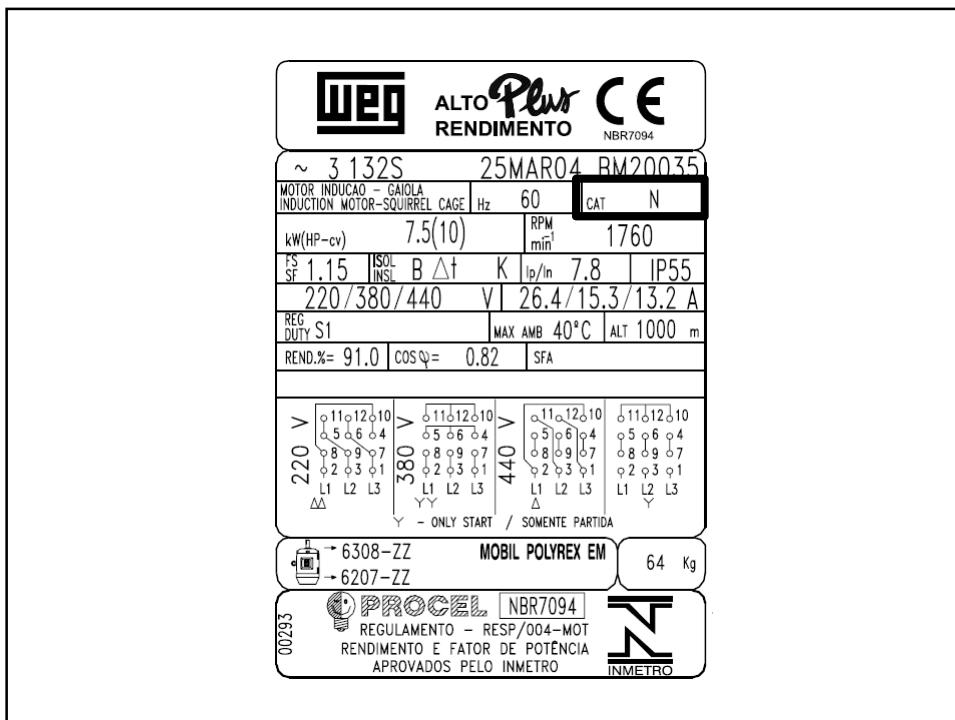
Para um dado escorregamento s(%), a velocidade do motor será, portanto

$$n = n_s \cdot \left(1 - \frac{s \%}{100}\right)$$

### **Velocidade nominal**

É a velocidade (rpm) do motor funcionando à potência nominal, sob tensão e freqüência nominais.

$$n = n_s \cdot \left(1 - \frac{s \%}{100}\right) \quad (\text{rpm})$$



$C_o$ : Conjugado básico - é o conjugado calculado em função da potência e velocidade síncrona.

$$C_o \text{ (Kgfm)} = \frac{716 \cdot P \text{ (cv)}}{n_s \text{ (rpm)}} = \frac{974 \cdot P \text{ (kW)}}{n_s \text{ (rpm)}}$$

$$C_o \text{ (Nm)} = \frac{7024 \cdot P \text{ (cv)}}{n_s \text{ (rpm)}} = \frac{9555 \cdot P \text{ (kW)}}{n_s \text{ (rpm)}}$$

$C_n$ : Conjugado nominal ou de plena carga - é o conjugado desenvolvido pelo motor à potência nominal, sob tensão e frequência nominais.

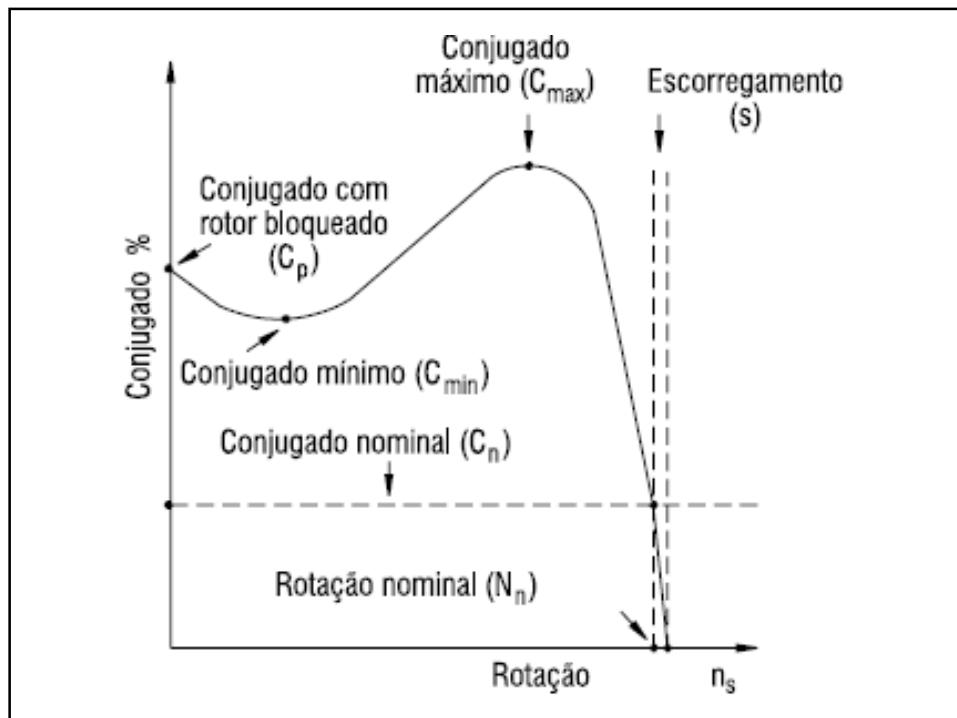
$C_p$ : Conjugado com rotor bloqueado ou conjugado de partida ou, ainda, conjugado de arranque - é o conjugado mínimo desenvolvido pelo motor bloqueado, para todas as posições angulares do rotor, sob tensão e frequência nominais.

#### Comentários

- 1) Este conjugado pode ser expresso em Nm ou, mais comumente, em porcentagem do conjugado nominal.

$$C_p \text{ ( \% )} = \frac{C_p \text{ (Nm)}}{C_n \text{ (Nm)}} \cdot 100$$

- 2) Na prática, o conjugado de rotor bloqueado deve ser o mais alto possível, para que o rotor possa vencer a inércia inicial da carga e possa acelerá-la rapidamente, principalmente quando a partida é com tensão reduzida.



$C_{min}$  : Conjugado mínimo - é o menor conjugado desenvolvido pelo motor ao acelerar desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo.

Na prática, este valor não deve ser muito baixo, isto é, a curva não deve apresentar uma depressão acentuada na aceleração, para que a partida não seja muito demorada, sobreaquecendo o motor, especialmente nos casos de alta inércia ou partida com tensão reduzida.

$C_{max}$  : Conjugado máximo - é o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e freqüência nominal, sem queda brusca de velocidade.

Na prática, o conjugado máximo deve ser o mais alto possível, por duas razões principais:

- 1) O motor deve ser capaz de vencer, sem grandes dificuldades, eventuais picos de carga como pode acontecer em certas aplicações, como em britadores, calandras, misturadores e outras.
- 2) O motor não deve arriar, isto é, perder bruscamente a velocidade, quando ocorrem quedas de tensão, momentaneamente, excessivas.

**Categoria N**

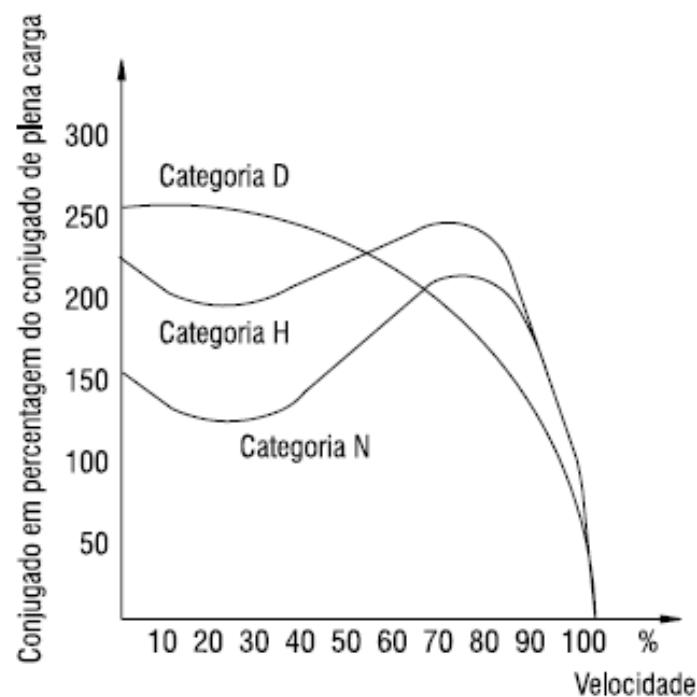
Conjugado de partida normal, corrente de partida normal; baixo escorregamento. Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes, ventiladores.

**Categoria H**

Conjugado de partida alto, corrente de partida normal; baixo escorregamento. Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia, britadores, etc.

**Categoria D**

Conjugado de partida alto, corrente de partida normal; alto escorregamento (+ de 5%). Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugados de partida muito altos e corrente de partida limitada. As curvas conjugado X velocidade das diferentes categorias podem ser vistas na figura 3.2.

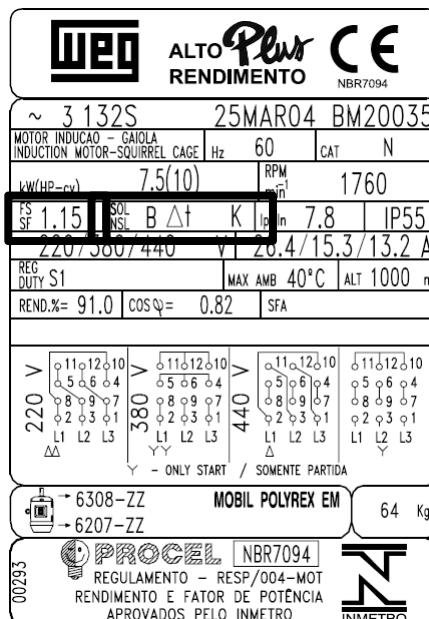


### Categoria NY

Esta categoria inclui os motores semelhantes aos de categoria N, porém, previstos para partida estrela-triângulo. Para estes motores na ligação estrela, os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% dos valores indicados para os motores categoria N.

### Categoria HY

Esta categoria inclui os motores semelhantes aos de categoria H, porém, previstos para partida estrela-triângulo. Para estes motores na ligação estrela, os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% dos valores indicados para os motores de categoria H.



### Definição das classes

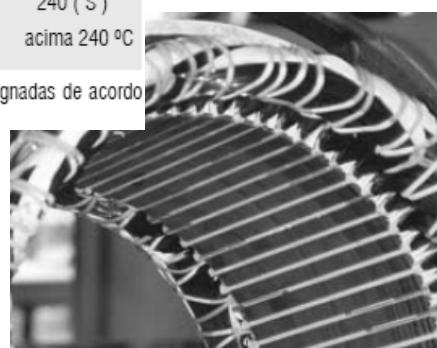
Como foi visto anteriormente, o limite de temperatura depende do tipo de material empregado. Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento (cada um formado pela combinação de vários materiais) são agrupados em CLASSES DE ISOLAMENTO, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil. As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura conforme NBR-7034, são as seguintes:

- Classe A (105 °C)
- Classe E (120 °C)
- Classe B (130 °C)
- Classe F (155 °C)
- Classe H (180 °C)

As classes B e F são as comumente utilizadas em motores normais.

Temperatura máxima	Classes de Temperatura	
	IEC 85	UL 1446
90 °C	Y (90°C)	-
105 °C	A (105°C)	-
120 °C	E (120°C)	120 (E)
130 °C	B (130°C)	130 (B)
155 °C	F (155°C)	155 (F)
180 °C	H (180°C)	180 (H)
200 °C	200 (200°C)	200 (N)
220 °C	220 (220°C)	220 (R)
240 °C	-	240 (S)
250 °C	250 (250°C)	acima 240 °C

As classes de temperaturas acima de 250°C são designadas de acordo com a temperatura.



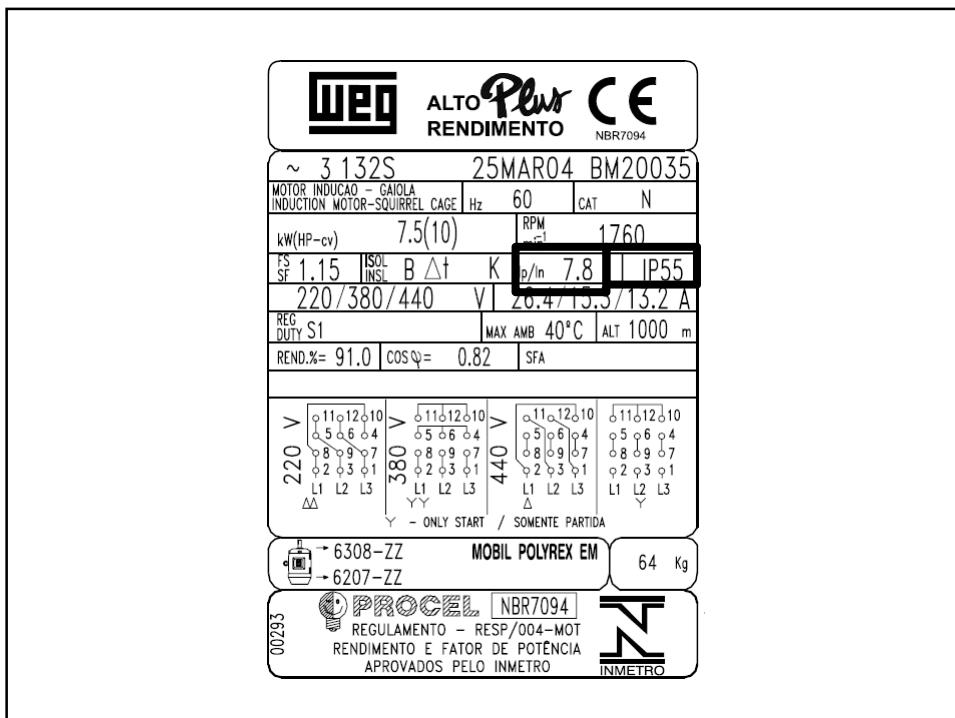


Tabela 6.2 - 1º ALGARISMO: Indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental

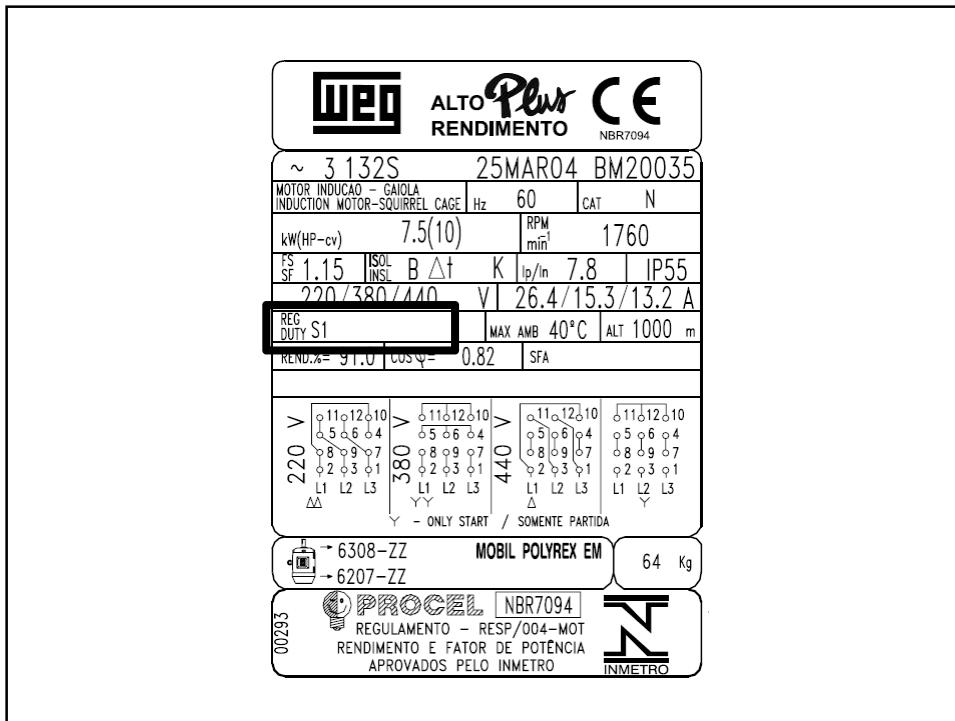
1º ALGARISMO	
ALGARISMO	INDICAÇÃO
0	Sem proteção
1	Corpos estranhos de dimensões acima de 50mm
2	Corpos estranhos de dimensões acima de 12mm
3	Corpos estranhos de dimensões acima de 2,5mm
4	Corpos estranhos de dimensões acima de 1,0mm
5	Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor
6	Totalmente protegido contra a poeira

2º ALGARISMO: Indica o grau de proteção contra penetração de água no interior do motor

2º ALGARISMO	
	INDICAÇÃO
0	Sem proteção
1	Pingos de água na vertical
2	Pingos de água até a inclinação de 15º com a vertical
3	Água de chuva até a inclinação de 60º com a vertical
4	Respingos de todas as direções
5	Jatos d'água de todas as direções
6	Água de vagalhões
7	Imersão temporária
8	Imersão permanente

Tabela 6.4 - Graus de proteção

Motor	Classes de proteção	1º algarismo		2º algarismo
		Proteção contra contato	Proteção contra corpos estranhos	Proteção contra água
Motores abertos	IP00	não tem	não tem	não tem
	IP02	não tem	não tem	pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP11	toque acidental com a mão	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	pingos de água na vertical
	IP12	toque acidental com a mão	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50 mm	pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP13	toque acidental com a mão	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50 mm	água de chuva até uma inclinação de 60° com a vertical
	IP21	toque com os dedos	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 12mm	pingos de água na vertical
	IP22	toque com os dedos	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 12 mm	pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP23	toque com os dedos	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 12 mm	água de chuva até uma inclinação de 60° com a vertical
	IP44	toque com ferramentas	corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 1mm	respingos de todas as direções
Motores fechados	IP54	proteção completa contra toques	proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	respingos de todas as direções
	IP55	proteção completa contra toques	proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	jatos de água em todas as direções
	IP(W)55	proteção completa contra toques	proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	chuva maresia



**a) Regime continuo (S1)**

Funcionamento a carga constante de duração suficiente para que se alcance o equilíbrio térmico (figura 5.8).

$$\begin{aligned} t_N &= \text{funcionamento em carga constante} \\ \theta_{\max} &= \text{temperatura máxima atingida} \end{aligned}$$

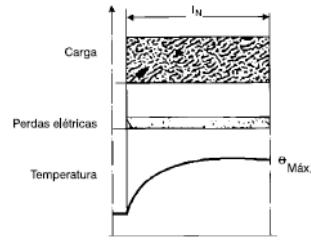


Figura 5.8

**b) Regime de tempo limitado (S2)**

Funcionamento a carga constante, durante um certo tempo, inferior ao necessário para atingir o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante (figura 5.9).

$$\begin{aligned} t_N &= \text{funcionamento em carga constante} \\ \theta_{\max} &= \text{temperatura máxima atingida durante o ciclo} \end{aligned}$$

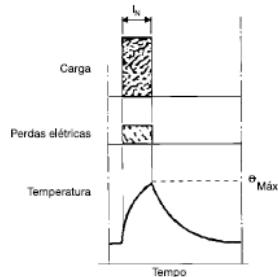


Figura 5.9

**c) Regime intermitente periódico (S3)**

Seqüência de ciclos idênticos, cada qual incluindo um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso, sendo tais períodos muito curtos para que se atinja o equilíbrio térmico durante um ciclo de regime e no qual a corrente de partida não afete de modo significativo a elevação de temperatura (figura 5.10).

$$t_N = \text{funcionamento em carga constante}$$

$$t_R = \text{repouso}$$

$$\theta_{\max} = \text{temperatura máxima atingida durante o ciclo}$$

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_R} \cdot 100\%$$



Figura 5.10

**d) Regime intermitente periódico com partidas (S4)**

Sequência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso, sendo tais períodos muito curtos, para que se atinja o equilíbrio térmico (figura 5.11).

- $t_o$  = partida
- $t_n$  = funcionamento em carga constante
- $t_r$  = repouso
- $\theta_{\max}$  = temperatura máxima atingida durante o ciclo

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_o + t_n}{t_o + t_n + t_r} \cdot 100\%$$

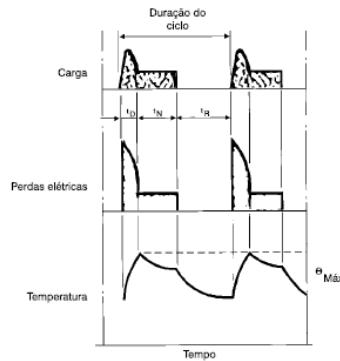


Figura 5.11

**e) Regime intermitente periódico com frenagem elétrica (S5)**

Sequência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante, um período de frenagem elétrica e um período de repouso, sendo tais períodos muito curtos para que se atinja o equilíbrio térmico (figura 5.12).

- $t_o$  = partida
- $t_n$  = funcionamento em carga constante
- $t_f$  = frenagem elétrica
- $t_r$  = repouso
- $\theta_{\max}$  = temperatura máxima atingida durante o ciclo

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_o + t_n + t_f}{t_o + t_n + t_f + t_r} \cdot 100\%$$

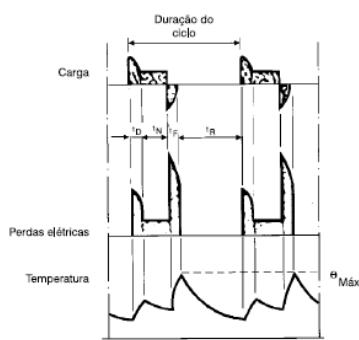


Figura 5.12

**f) Regime de funcionamento contínuo periódico com carga intermitente (S6)**

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de funcionamento a carga constante e de um período de funcionamento em vazio, não existindo período de repouso (figura 5.13)

$$\begin{aligned} t_N &= \text{funcionamento em carga constante} \\ t_V &= \text{funcionamento em vazio} \\ \theta_{\max} &= \text{temperatura máxima atingida durante o ciclo} \\ \text{Fator de duração do ciclo} &= \frac{t_N}{t_N + t_V} \cdot 100\% \end{aligned}$$

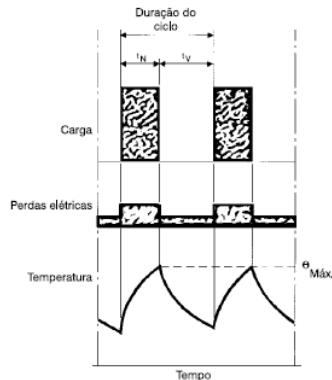


Figura 5.13

**g) Regime de funcionamento contínuo periódico com frenagem elétrica (S7)**

Seqüência de ciclos de regimes idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, de um período de funcionamento a carga constante e um período de frenagem elétrica, não existindo o período de repouso (figura 5.14).

$$\begin{aligned} t_D &= \text{partida} \\ t_N &= \text{funcionamento em carga constante} \\ t_F &= \text{frenagem elétrica} \\ \theta_{\max} &= \text{temperatura máxima atingida durante o ciclo} \end{aligned}$$

$$\text{Fator de duração do ciclo} = 1$$

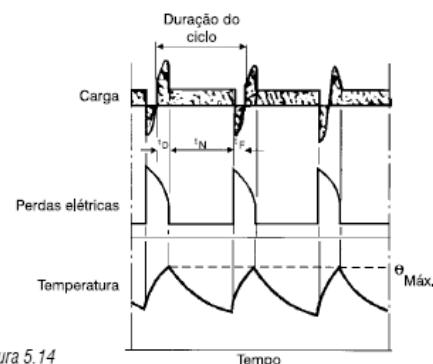


Figura 5.14

**h) Regime de funcionamento contínuo com mudança periódica na relação carga/velocidade de rotação (S8).**

Sequência de ciclos de regimes idênticos, cada ciclo consistindo de um período de partida e um período de funcionamento a carga constante, correspondendo a uma velocidade de rotação pré-determinada, seguidos de um ou mais períodos de funcionamento a outras cargas constantes, correspondentes a diferentes velocidades de rotação. Não existe período de repouso (figura 5.15).

- $t_{\text{m}} - t_{\text{r2}}$  = frenagem elétrica
- $t_b$  = partida
- $t_{\text{m}} - t_{\text{r2}} - t_{\text{r3}}$  = funcionamento em carga constante
- $\theta_{\text{máx.}}$  = temperatura máxima atingida durante o ciclo

$$\begin{aligned} \text{Fator de duração do ciclo:} \\ &= \frac{t_b + t_m}{t_b + t_m + t_r + t_{r2} + t_{r3}} \cdot 100\% \\ &= \frac{t_m + t_{r2}}{t_b + t_m + t_r + t_{r2} + t_{r3}} \cdot 100\% \\ &= \frac{t_{r2} + t_{r3}}{t_b + t_m + t_r + t_{r2} + t_{r3}} \cdot 100\% \end{aligned}$$

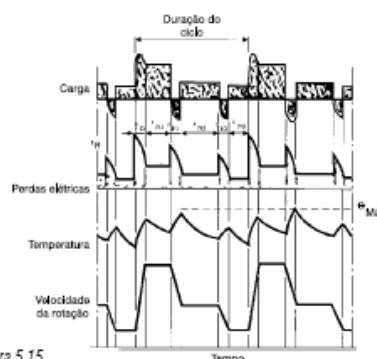
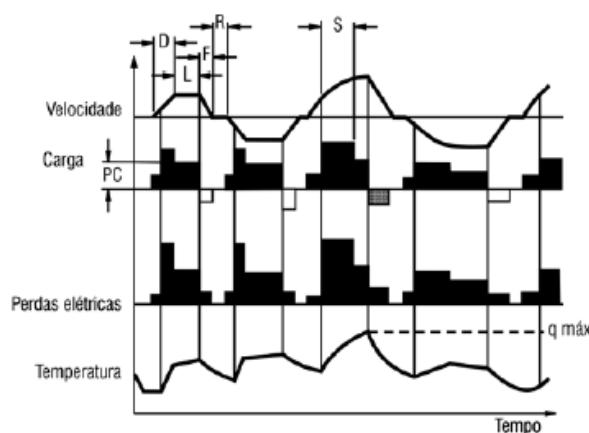


Figura 5.15

**i) Regime com variações não periódicas de carga e de velocidade (S9)**

Regime no qual geralmente a carga e a velocidade variam não periodicamente, dentro da faixa de funcionamento admissível, incluindo freqüentemente sobrecargas aplicadas que podem ser muito superiores às plenas cargas (figura 5.16).

Figura 5.16



**i) Regime com cargas constantes distintas (S10)**  
 Regime com cargas constantes distintas, incluindo no máximo, quatro valores distintos de carga (ou cargas equivalentes), cada valor sendo mantido por tempo suficiente para que o equilíbrio térmico seja atingido. A carga mínima durante um ciclo de regime pode ter o valor zero (funcionando em vazio ou repouso). (Figuras 5.17a, b e c).

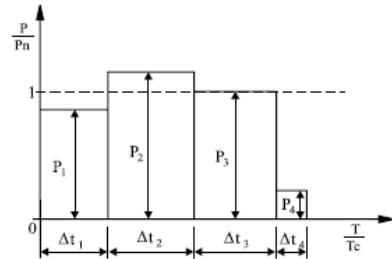


Figura 5.17a

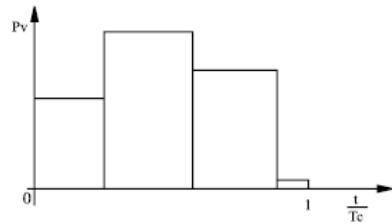


Figura 5.17b

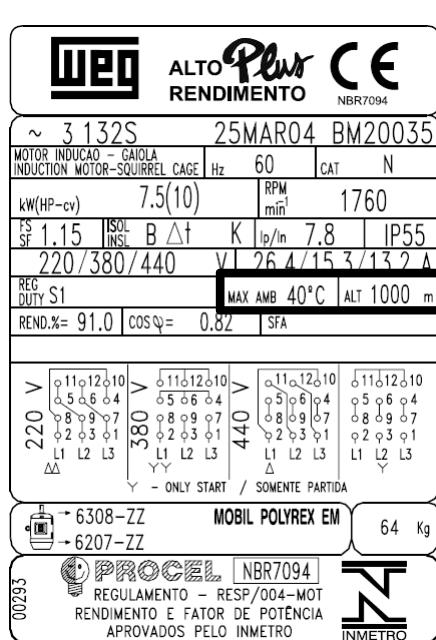
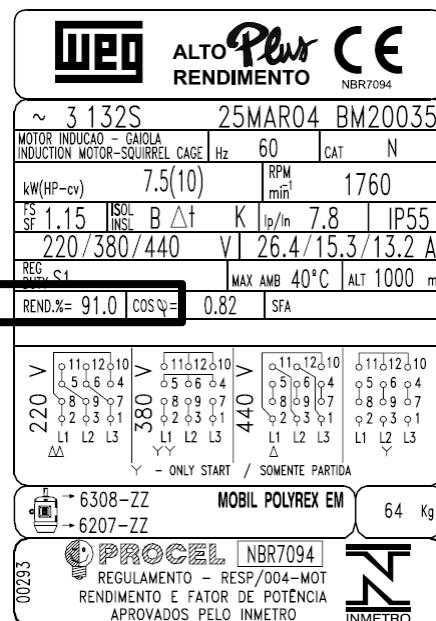


Tabela 6.1 - Fator de multiplicação da potência útil em função da temperatura ambiente ( $T$ ) em °C e de altitude ( $H$ ) em m

T/H	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
10	1,16	1,13	1,11	1,08	1,04	1,01	0,97
15	1,13	1,11	1,08	1,05	1,02	0,98	0,94
20	1,11	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,91
25	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,93	0,89
30	1,06	1,03	1,00	0,96	0,92	0,90	0,86
35	1,03	1,00	0,95	0,93	0,90	0,88	0,84
40	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,80
45	0,95	0,92	0,90	0,88	0,85	0,82	0,78
50	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
55	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73
60	0,83	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,70



### 1.2.6 Rendimento

O motor elétrico absorve energia elétrica da linha e a transforma em energia mecânica disponível no eixo. O rendimento define a eficiência com que é feita esta transformação.

Chamando "Potência útil"  $P_u$  a potência mecânica disponível no eixo e "Potência absorvida"  $P_a$  a potência elétrica que o motor retira da rede, o rendimento será a relação entre as duas, ou seja:

$$\eta = \frac{P_u (W)}{P_a (W)} = \frac{736 \cdot P (\text{cv})}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi} = \frac{1000 \cdot P (\text{kW})}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi}$$

OU

$$\eta \% = \frac{736 \cdot P (\text{cv})}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi} \cdot 100$$

