

## Capítulo 28- Torque ou conjugado

### 28.1 Introdução

Vamos nos detalhar um pouco sobre o torque ou conjugado para o uso em volantes de inércia

Muitas vezes para resolver o problema de golpe de aríete necessitamos de aumentar o momento de inércia do eixo do motor e da bomba. O problema é não aumentar muito para que não haja problema de o motor não dar a partida.

O conjunto ou torque da carga do motor poderá ser alterado com um volante cuja massa deverá ser calculada.

De modo geral o momento de inércia é usado a letra I ou J e fornecido em  $\text{kgxm}^2$  ou  $\text{kgf x m}^2$ .

A Figura (28.1) mostra o que é o conjugado que é a força F vezes a distância L, como a manivela da roldana de um poço raso.

$$C = F \times L \quad (\text{N x m})$$

Conforme Weg se  $F=20\text{N}$  e a distância  $L=0,10\text{m}$  teremos:

$$C = F \times L = 20 \times 0,10 = 2,0 \text{ N x m}$$

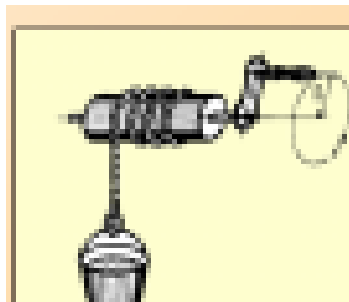


Figura 28.1 Torque ou conjugado

Fonte: Motores Weg

### 28.2 Torque de carga

**Torque nominal** é o torque fornecido pelo motor no seu eixo sob tensão e corrente nominais conforme Pereira,2008 conforme Figura (28.2) e observe na parte mais baixa a curva do torque ou conjugado da carga.

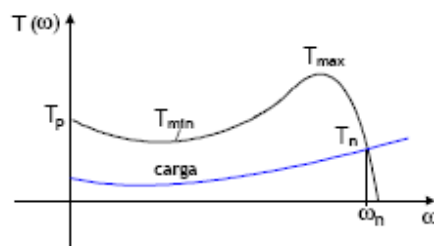
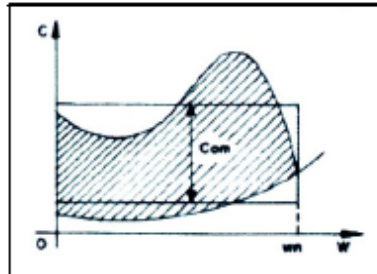


Figura 28.2 Torques típicos do motor de indução

Fonte: Pereira, 2008

Na Figura (28.2) temos uma visão do que é o torque ou conjugado.  
Na Figura (28.3) mostra o conjugado médio Com.



**Figura 28.3-Conjugado de aceleração media equivalente**  
**Fonte: Bustamente, 2005**

### 28.3 Categoria dos motores de indução

Os motores de indução conforme a norma NBR 7094/96 são divididos em três categorias básicas que são:

#### **Categoria N**

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

#### **Categoria H**

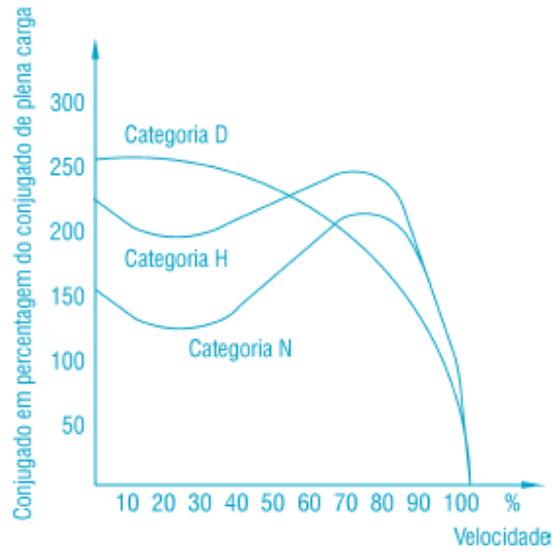
Possuem conjugado de partida alto, corrente de partida normal, baixo escorregamento. São usados para cargas que exigem maior conjugado na partida como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia, britadores, etc.

#### **Categoria D**

Possuem conjugado de partida alto, corrente de partida normal e alto escorregamento (mais ou menos 5%). São usadas em prensas excêntricas e máquinas semelhante, 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.

Na Figura (28.4) podemos ver os conjugados (torques) dos motores de categoria D, H e N, notando-se que os motores de categoria D possuem o maior conjugado de partida.

Na prática quando precisamos de um volante de inércia, podemos conforme o caso escolher a categoria do motor como, por exemplo, a categoria H.



**Figura 28.4- Conjugado de motores das categorias N, H e D. Fonte: Weg**  
**28.4 Conjugados**

As Tabelas (28.1) e (28.2) nos fornecem os vários conjugados do motor Weg para as categorias de motor N e H.

**Tabela 28.1- Conjugados com rotor bloqueado  $C_p$ , conjugado mínimo de partida  $C_{mn}$  e conjugado máximo  $C_{mx}$  para motores de categoria N, relativos ao conjugado nominal  $C_n$ . Fonte: Weg.**

Número de pólos		2			4			6			8		
Faixa de potências nominais		$C_p$	$C_{mn}$	$C_{mx}$	$C_p$	$C_{mn}$	$C_{mx}$	$C_p$	$C_{mn}$	$C_{mx}$	$C_p$	$C_{mn}$	$C_{mx}$
kW	cv	pu											
> 0,4 ≤ 0,63	> 0,54 ≤ 0,63	1,9	1,3	2,0	2,0	1,4	2,0	1,7	1,2	1,7	1,5	1,1	1,6
> 0,63 ≤ 1,0	> 0,86 ≤ 1,4	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,7	1,2	1,8	1,5	1,1	1,7
> 1,0 ≤ 1,6	> 1,4 ≤ 2,2	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
> 1,6 ≤ 2,5	> 2,2 ≤ 3,4	1,7	1,1	2,0	1,8	1,2	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
> 2,5 ≤ 4,0	> 3,4 ≤ 5,4	1,6	1,1	2,0	1,7	1,2	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
> 4,0 ≤ 6,3	> 5,4 ≤ 8,6	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
> 6,3 ≤ 10	> 8,6 ≤ 14	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,8	1,3	1,0	1,7
> 10 ≤ 16	> 14 ≤ 22	1,4	1,0	2,0	1,5	1,1	2,0	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
> 16 ≤ 25	> 22 ≤ 34	1,3	0,9	1,9	1,4	1,0	1,9	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
> 25 ≤ 40	> 34 ≤ 54	1,2	0,9	1,9	1,3	1,0	1,9	1,3	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
> 40 ≤ 63	> 54 ≤ 86	1,1	0,8	1,8	1,2	0,9	1,8	1,2	0,9	1,7	1,1	0,8	1,7
> 63 ≤ 100	> 86 ≤ 140	1,0	0,7	1,8	1,1	0,8	1,8	1,1	0,8	1,7	1,0	0,7	1,6
> 100 ≤ 160	> 140 ≤ 220	0,9	0,9	1,7	1,0	0,8	1,7	1,0	0,8	1,7	0,9	0,7	1,6
> 160 ≤ 250	> 220 ≤ 340	0,8	0,6	1,7	0,9	0,7	1,7	0,9	0,7	1,6	0,9	0,7	1,6
> 250 ≤ 400	> 340 ≤ 540	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6
> 400 ≤ 630	> 540 ≤ 860	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,6	1,6

**Tabela 28.2- Conjugados com rotor bloqueado  $C_p$ , conjugado mínimo de partida  $C_{min}$  e conjugado máximo  $C_{max}$  para motores de categoria H, relativos ao conjugado nominal  $C_n$ . Fonte: Weg.**

Número de pólos		4			6			8		
Faixa de potências nominais		$C_p$	$C_{min}$	$C_{max}$	$C_p$	$C_{min}$	$C_{max}$	$C_p$	$C_{min}$	$C_{max}$
kW	cv	pu								
>0,4 ≤ 0,63	> 0,54 ≤ 0,63	3,0	2,1	2,1	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
> 0,63 ≤ 1,0	> 0,86 ≤ 1,4	2,85	1,95	2,0	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
> 1,0 ≤ 1,6	> 1,4 ≤ 2,2	2,85	1,95	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
> 1,6 ≤ 2,5	> 2,2 ≤ 3,4	2,7	1,8	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
> 2,5 ≤ 4,0	> 3,4 ≤ 5,4	2,55	1,8	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
> 4,0 ≤ 6,3	> 5,4 ≤ 8,6	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
> 6,3 ≤ 10	> 8,6 ≤ 14	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
> 10 ≤ 16	> 14 ≤ 22	2,25	1,65	2,0	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
> 16 ≤ 25	> 22 ≤ 34	2,1	1,5	1,9	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
> 25 ≤ 40	> 34 ≤ 54	2,0	1,5	1,9	2,0	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
> 40 ≤ 63	> 54 ≤ 86	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9
> 63 ≤ 100	> 86 ≤ 140	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9
> 100 ≤ 160	> 140 ≤ 220	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9

Notas: a) os valores de  $C_p/C_n$  são iguais a 1,5 vezes os valores correspondentes da categoria N, não sendo porém, inferiores a 2,0;  
 b) os valores de  $C_{min}/C_n$  são iguais a 1,5 vezes os valores correspondentes da categoria N, não sendo porém, inferiores a 1,4;  
 c) os valores de  $C_{max}/C_n$  são iguais aos valores correspondentes da categoria N, não sendo porém, inferiores a 1,9 ou ao valor correspondente de  $C_{max}/C_n$

### 28.5 Momento de inércia do motor

O momento de inércia de um motor segundo a Weg depende do número de pares de pólos e da potência nominal em Kw.

$$J = 0,04 \times P^{0,9} \times p^{2,5}$$

Sendo:

J= momento de inércia (kg x m<sup>2</sup>)

P= potência nominal em Kw

p= número de pares de pólos do motor

A Tabela (28.3) apresenta os momentos de inércia dos motores Weg em kgxm<sup>2</sup> em função da potência em Kw ou CV e em relação ao numero de pólos do motor.

**Tabela 28.3- Momento de inércia dos motores Weg J em kg xm<sup>2</sup>**

Potencia nominal		Número de pólos			
		2	4	6	8
kW	cv	kgm <sup>2</sup>			
0,4	0,54	0,018	0,099	0,273	0,561
0,63	0,86	0,026	0,149	0,411	0,845
1,0	1,4	0,040	0,226	0,624	1,28
1,6	2,2	0,061	0,345	0,952	1,95
2,5	3,4	0,091	0,516	1,42	2,92
4,0	5,4	0,139	0,788	2,17	4,46
6,3	8,6	0,210	1,19	3,27	6,71
10	14	0,318	1,80	4,95	10,2
18	22	0,485	2,74	7,56	15,5
25	34	0,725	4,10	11,3	23,2
40	54	1,11	6,26	17,2	35,4
63	86	1,67	9,42	26,0	53,3
100	140	2,52	14,3	39,3	80,8
160	220	3,85	21,8	60,1	123
250	340	5,76	32,6	89,7	184
400	540	8,79	49,7	137	281
630	860	13,2	74,8	206	423

Notas

a) Os valores são dados em função de massa-raio ao quadrado. Eles foram calculados a partir da fórmula:

$$J = 0,04 \cdot P^{0,9} \cdot p^{2,5}$$

onde: P - potência nominal em Kw  
 p - número de pares de pólos

### 28.6 Tempo de aceleração do motor

Conforme Weg para se verificar se o motor consegue acionar a carga, ou para dimensionar uma instalação, equipamentos de partida ou sistema de proteção, é necessário saber o tempo de aceleração, que vai desde o instante em que o equipamento é acionado até ser atingida a rotação nominal.

Conforme Pereira, 2008 o tempo de aceleração deverá ser sempre inferior ao tempo de rotor bloqueado que o motor suporta, o qual vem especificado no catálogo do fabricante. Em geral os fabricantes aconselham que o tempo de aceleração não deva ser superior ao tempo de rotor bloqueado fornecido.

O tempo de rotor bloqueado será calculado tendo base a curva de torque da carga e do motor. Desconsiderando-se o atrito mecânico, o tempo de aceleração em segundos pode ser estimado pela seguinte expressão, conforme Pereira, 2008.

$$t_a = 2 \times \text{PI} \times (\text{RPM}/60) \times (\text{J}_m + \text{J}_c) / (\text{T}_{\text{médio motor}} - \text{T}_{\text{médio carga}})$$

Sendo:

$t_a$  = tempo de aceleração (s) < tempo especificado pelo fabricante

RPM = rotação do motor em RPM

$J_m$  = momento de inércia do motor em  $\text{kg} \times \text{m}^2$

$J_c$  = momento de inércia da carga referida ao eixo do motor em  $\text{kg} \times \text{m}^2$

$T_{\text{médio motor}}$  = conjugado médio do motor em  $\text{N} \times \text{m}$

$T_{\text{médio carga}}$  = conjugado médio da carga em  $\text{N} \times \text{m}$

Ainda segundo Pereira, 2008 o conjugado médio do motor  $T_{\text{médio motor}}$  pode ser calculado aproximadamente pela seguinte expressão:

$$T_{\text{médio motor}} = 0,45 \left( \frac{T_p}{T_n} + \frac{T_{\text{max}}}{T_n} \right) \times T_n \quad \text{para motores de Categoria N e H}$$

Sendo:

$T_p$  = conjugado resistente de partida

$T_n$  = conjugado nominal

$T_{\text{max}}$  = conjugado máximo

Para motor de categoria D teremos:

$$T_{\text{médio motor}} = 0,6 \left( \frac{T_p}{T_n} \right) \times T_n \quad \text{para motores de Categoria D}$$

#### Exemplo 28.1

Supomos um motor de 30 CV com 6 pólos e categoria N

Conforme Tabela (28.1) Weg teremos:

$T_p = 1,4$

$T_n = 1,0$

$T_{\text{max}} = 1,8$

$$T_{\text{médio motor}} = 0,45 \left( \frac{T_p}{T_n} + \frac{T_{\text{max}}}{T_n} \right) \times T_n$$

$$T_{\text{médio motor}} = 0,45 \left( 1,4 + 1,8 \right) \times T_n = 1,44 \times T_n$$

Consultando o catálogo eletrônico da Weg achamos para  $T_n = 179 \text{ N} \times \text{m}$  e  $\text{rpm} = 1175$  e momento de inércia  $0,41258 \text{ kg} \times \text{m}^2$ .

$$T_{\text{médio motor}} = 1,44 \times T_n = 1,44 \times 179 = 258 \text{ N} \times \text{m}$$

Conforme Weg temos:

$$T_n (\text{N} \times \text{m}) = 7024 \times P(\text{CV}) / \text{rpm}$$

$$T_n = 7024 \times 30CV / 1175 = 179 \text{ N x m}$$

Tn também chamado de conjugado básico pela Weg

$$T_n (\text{N x m}) = 9555 \times P(\text{Kw}) / \text{rpm}$$

$$T_n (\text{kgfx m}) = 974 \times P(\text{Kw}) / \text{rpm}$$

$$T_n (\text{kgfxm}) = 716 \times P(\text{CV}) / \text{rpm}$$

$$t_a = 2 \times \text{PI} \times (\text{RPM}/60) \times (J_m + J_c) / (T_{\text{médio motor}} - T_{\text{médio carga}})$$

$$J_m = 0,41258 \text{ kgxm}^2$$

$J_c = I = 2,0 \text{ kgxm}^2$  (conjugado de carga constante que seria o volante de inércia)

$$T_{\text{médio carga}} = I_{\text{carga}} \times \alpha = J_c \times \alpha$$

Sendo  $\alpha$  = aceleração angular

$$\text{Velocidade angular } \omega = 2 \times \text{PI} \times n \text{ em rad/s}$$

n= rotação por segundo que varia com o tempo

Considerando um tempo  $t=10\text{s}$

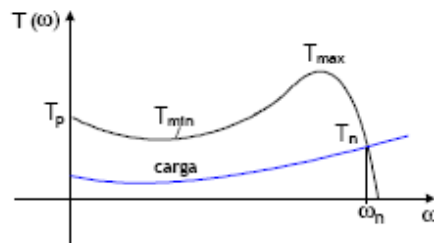
$$T_{\text{médio carga}} = I_{\text{carga}} \times 2 \times \text{PI} \times n / t$$

Para um ponto da curva quando  $n=1175\text{rpm}$  teremos:

$$T_{\text{médio carga}} = 2,0 \times 2 \times 3,1416 \times (1175/60) / 10 = 24,6 \text{ Nm}$$

$$T_n = 7024 \times 30CV / 1175 = 179 \text{ N x m}$$

$$t_a = 2 \times \text{PI} \times (1175/60) \times (0,41258 + 2,0) / (179 - 24,6) = 1,9\text{s} < 20\text{s (Catalogo Weg) OK.}$$



Supomos o torque da carga constante como seria o volante de inércia de um motor e bomba.

**Dica: consultar sempre o fabricante quanto ao conjugado de carga.**

**Transformações de unidades:**

Para transformar  $(\text{kgxm}^2)$  que é o  $\text{GD}^2$  para  $\text{lbx ft}^2$  multiplicar por 5,933

Tendo o  $\text{WR}^2$  em  $(\text{lb x ft}^2)$  multiplicando por 0,1686 obtemos  $\text{kg x m}^2$

$$P (\text{KW}) = 0,736 \times P(\text{CV})$$

$$P (\text{CV}) = 1,359 \times P(\text{Kw})$$

**Dica: o motor deve partir sem sobrecarga com tensão reduzida, consoante os critérios das normas NEMA e ABNT.**

### 28.7 Bibliografia e consultas

- BUSTAMENTE, ÉDERSON. *Partida e aceleração de motores*. Internet, 48 páginas.
- Catálogo eletrônico da Siemens
- Catálogo eletrônico Grundfoss
- Catálogo eletrônico KSB
- Catálogos eletrônico da Weg. *Especificações da Weg*, 51 páginas.
- FHSP (FACULDADE DE HIGIENE E SAÚDE PÚBLICA). *Bombas e estações elevatória*. 2ª ed, 1968.
- KARASSASIK, IGOR J. et al. *Pump handbook*. 2ª ed. McGraw-hill, 1986.
- PEREIRA, LUIZ ALBERTO. *Seleção e aplicação de motores de indução standard e de alto rendimento*. PUCRS. Internet, acessado em janeiro de 2008, 19 páginas.