



## 7 - Seleção de Rolamentos

O tamanho do rolamento a ser utilizado em uma determinada aplicação é selecionado a princípio com base em sua capacidade de carga em relação às cargas a serem aplicadas e as necessidades de vida útil e confiabilidade.

As cargas aplicadas aos rolamentos subdividem-se em dois tipos, carga estática e carga dinâmica, classificam-se de acordo com as velocidades de rotação, sendo, para uma rotação 10 rpm/min é classificado como carga estática, porém rotações maiores que 10rpm/min são classificadas como carga dinâmica.

A capacidade de carga dinâmica definida pela letra "C", é utilizada para cálculos envolvendo rolamentos carregados dinamicamente, ou seja, para se selecionar um rolamento submetido a carga e rotação. Ela expressa a carga que permitirá ao rolamento uma vida útil mínima de 1.000.000 de revoluções, conforme norma ISO.

A capacidade de carga estática é definida pela letra "Co", utilizado para cálculos onde, conforme vimos acima, rotações muito baixas, para rolamentos que são submetidos a movimentos muito pequenos, de oscilação, ou até mesmo ficam estacionados sob cargas durante certos períodos de tempo. Importante salientar que cargas estacionadas sobre rolamentos causam deformações, pequenas, de aproximadamente 0,0001mm nos diâmetros dos corpos rolantes.

Ensaio em laboratório e a experiência tem mostrado que rolamentos aparentemente idênticos, funcionando em condições idênticas apresentam vidas diferentes. As informações contidas são baseados em aprovação de 90% dos rolamentos e em acordo com as normas ISO e a vida média é aproximadamente 5 vezes a vida nominal. Ainda existem outros fatores que devem ser levados em conta para definição clara da vida útil dos rolamentos.

### 7.1 - Vida Útil

A vida útil de um rolamento é definida pelo número de revoluções ou horas de trabalho, antes que o mesmo apresente sinais de fadiga, com uma capacidade mínima de 1.000.000 revoluções.

## Confiabilidade

A confiabilidade de um grupo de rolamento pode ser calculada de duas formas, submetidos nas mesmas condições de trabalho e esforço. É calculada percentualmente aos rolamentos que superam as expectativas de vida útil atingível. Esta está atrelada a capacidade de um mesmo superar sua vida útil calculada.

## Vida útil básica

Conforme definição na norma ISO os rolamentos sob as cargas dinâmicas ou estáticas devem atingir um mínimo de  $10^6$  revoluções.

Para rolamentos que apresentam velocidades diferentes, ver mais adiante como proceder para cálculo.

## 7.2 - Seleção de rolamentos de acordo com as capacidade básica de carga dinâmica

### 7.2.1 - Avaliação Básica de Vida

A classificação de fadiga dos rolamentos de esferas é calculada pela seguinte fórmula:

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^3$$

ou

$$\frac{C}{P} = L_{10}^{1/3}$$

Onde:

**L<sub>10</sub>** = Capacidade básica de vida útil (10<sup>6</sup>)

**C** = Capacidade básica de carga dinâmica (N)

**P** = Carga dinâmica equivalente (N)

A capacidade de carga dinâmica C é uma constante hipotética fixada através de estudos para que o rolamento atue com uma vida útil de um milhão de rotações.

A capacidade de carga equivalente P é a carga constante em magnitude e direção e atua radialmente no rolamento.

Para um rolamento que trabalha em uma velocidade constante de rotação, podemos expressar sua expectativa de vida útil em horas:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \left( \frac{C}{P} \right)^3$$

ou

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} L_{10} = \frac{16666}{n} \left( \frac{C}{P} \right)^3$$

Onde:

$L_{10h}$  = Vida nominal, horas de trabalho (h)

$n$  = Velocidade, r/min

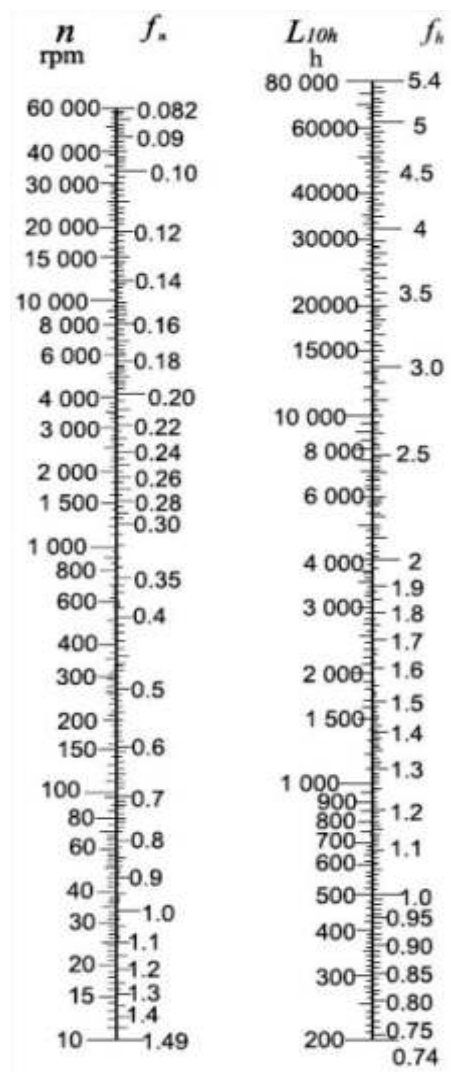
Para facilitar o cálculo, tomamos como base de avaliação 500 horas de vida, o fator velocidade  $fn$  e o fator de vida  $fh$  são introduzidos:

$$fn = \left( \frac{33 \frac{1}{3}}{n} \right)^{1/3}$$

$$fh = \left( \frac{L_{10} h}{500} \right)^{1/3}$$

Desta forma, podemos simplificar a fórmula para:

$$C = \frac{fn}{fh} P$$



Os valores para  $fn$  e  $fh$  podem ser encontrados na figura acima para estimativa de velocidade  $n$  tendo em vista a vida útil de  $L_{10h}$ .

Em seguida, com carga radial (ou a carga dinâmica equivalente do rolamento), a carga básica dinâmica pode ser determinada. Desta forma, o tamanho do rolamento pode ser determinado de acordo com o valor de classificação de carga dinâmica básica nos rolamentos.

Caso o rolamento opere sobre rotações indeterminadas, ou várias rotações, utilizamos para os fins de cálculo a seguinte fórmula:

$$P_m = \sqrt[3]{\frac{1}{N} \int_0^N P^3 dN}$$

Onde:  $P_m$  = Carga dinâmica média (N).  
 $P$  = Carga dinâmica equivalente (N)  
 $N$  = Número total de rotações dentro de um ciclo de mudança de carga (N).

## 7.2.2 - Prolongando a Vida útil do rolamento

Ao selecionar um rolamento, devemos pressupor uma vida de serviço adequado de acordo com o tipo de máquina, as condições de funcionamento e os requisitos de confiabilidade. De um modo geral a vida útil de um rolamento pode ser prolongada mantendo-se um período de manutenção coerente.

## 7.2.3 - Cálculo da carga dinâmica equivalente

Equação geral para cálculo de carga dinâmica:

$$P = X F_r + Y F_a$$

Onde:

**P:** Carga dinâmica equivalente

**Fr:** Carga de trabalho radial

**Fa:** Carga de trabalho axial

**X:** Fator Radial

**Y:** Fator axial

Os Valores de X e Y são determinados através da relação entre a força aplicada  $F_a$  e o limite de carga estática  $C_o$ .

A carga axial que o rolamento pode suportar é determinada pelo método de montagem no eixo. Os rolamentos fixados por parafuso ou colar excêntrico seguem tabelas de torque e aperto de acordo com seu diâmetro de aplicação, a força axial que os mesmos suportam segue um padrão de 20% da carga radial suportada.

Para rolamentos de fixação por bucha, é preciso primeiramente verificar se a fixação se encontra correta e utilizar no máximo 15% do valor da carga radial.

Os valores de carga radial e axial, X e Y para aplicação podem ser obtidos na tabela seguinte:

Tabela 14

$\frac{F_a}{C_o}$	$\frac{F_a}{F_r} > e$ $p = F_r$		Folga para grupo 2			Folga para grupo normal			Folga para grupo 3		
			$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} > e$		e
	X	Y	X	Y		X	Y		X	Y	
0.025	1	0	0.56	2.0	0.22	0.46	1.75	0.31	0.44	1.42	0.4
0.04	1	0	0.56	1.8	0.24	0.46	1.62	0.33	0.44	1.36	0.42
0.07	1	0	0.56	1.6	0.27	0.46	1.46	0.36	0.44	1.27	0.44
0.13	1	0	0.56	1.4	0.31	0.46	1.30	0.41	0.44	1.16	0.48
0.25	1	0	0.56	1.2	0.37	0.46	1.14	0.46	0.44	1.05	0.53
0.5	1	0	0.56	1	0.44	0.46	1	0.54	0.44	1	0.56

Quando uma carga de torção é aplicada nos rolamentos, a carga dinâmica equivalente é calculada através da fórmula:

$$P_m = f_m \times P$$

Onde:

$P_m$  = Carga dinâmica equivalente (quando considerada torção).

$f_m$  = Para um fator de carga de torção, utilizamos a seguinte instrução:

Quando a carga de torção é pequena:  $f_m=1,5$

Quando a carga de torção é grande:  $f_m= 2$

Quando forças de impacto são aplicadas nos rolamentos, a carga dinâmica equivalente pode ser calculada através da seguinte equação:

$$P_d = f_d \cdot P$$

Onde:  $P_d$  = Carga dinâmica equivalente quando forças de impacto são aplicadas

$f_d$  = Fator de carga de impacto, o que é definido através das instruções:

Quando não há impacto ou impactos muito baixos:

$$f_d = 1 \sim 1,2$$

Quando impactos consideráveis são aplicados:

$$f_d = 1,2 \sim 1,8$$

### 7.3 - Exemplo de seleção de rolamento:

Um rolamento necessita ser dimensionado para trabalhar com uma rotação de 1000 rpm (r/min) e suportar uma carga radial de  $F_r = 3000$  N.

Sabendo que o mesmo necessita de um mínimo de 20.000 h de trabalho, selecione o rolamento de acordo com sua capacidade.

$$f_n = 0,32 \text{ ver tabela anterior}$$

tomando como base a necessidade de operação de 20.000h, podemos encontrar o seguinte:

$$f_h = 3,42 \text{ (ver tabela anterior 3,4)}$$

Sobre apenas uma carga radial temos:

$$P = F_r$$

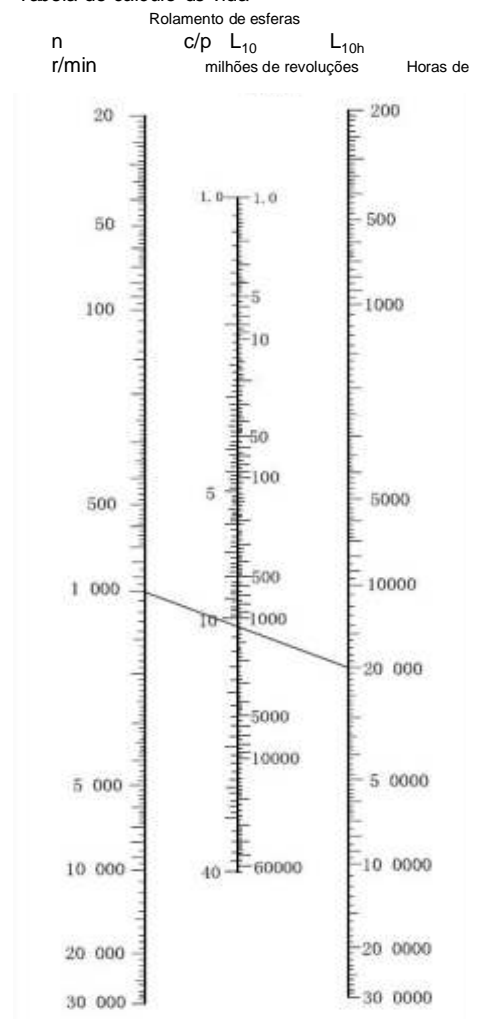
Portanto:

$$C = \frac{f_h}{f_n} P$$

$$= \frac{3,42}{0,322} \times 3000 = 31863(\text{N})$$

Um modo simplificado de seleção seria utilizar a figura ao lado

Tabela de cálculo de vida





Para integrarmos a rotação (1.000 rpm) e os pré-requisitos básicos de operação (vida do rolamento)  $L_{10h} = 20.000h$ .

Ligando os dois valores com uma reta, chegamos a um valor de  $\sim 10.6$ . Como nos foi fornecido que  $P = F_r = 3.000 N$ , assim, a necessidade básica de carga dinâmica é:

$$\frac{C}{P} = 10.6$$
$$C = 10.6P$$
$$= 10.6 \times 3000 = 31800 \text{ (N)}$$

Desta forma, podemos selecionar o modelo do rolamento através das tabelas de catálogo.

## 7.4 - Equação para ajuste de vida do rolamento:

A forma de cálculo utilizada para encontrarmos a vida útil básica do rolamento de  $L_{10}$ , pode ser utilizada para cálculo de rolamentos padrões (com confiabilidade de 90%). Devido a uma maior exigência na qualidade, os rolamentos são fabricados segundo as normas GB/T6391-1995 (ISO 281:1990).

Sugerimos uma equação melhor ajustada à vida útil, segue exemplo.

$$L_{na} = a_1 \times a_2 \times a_3 \times L_{10}$$

Para rolamento fixo de esferas.

$$L_{na} = a_1 \times a_2 \times a_3 (C/P)^3$$

Onde:

$L_{na}$  = Para condições de materiais e lubrificação específicos, onde a vida do rolamento será (100 - n) % de probabilidades de falha.

$a_1$  = Fator de confiabilidade para o rolamento (ver tabela 15)

$a_2$  = Fator de ajuste que leva em conta o material do rolamento (ver tabela 16)

$a_3$  = Fator de ajuste para vida útil levando em conta as condições de operação (ver tabela 17).

Tabela 15 - Fatores de Ajuste para Vida útil - Confiabilidade

Confiabilidade %	90	95	96	97	98	99
$L_n$	$L_{10}$	$L_5$	$L_4$	$L_3$	$L_2$	$L_1$
$a_1$	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Tabela 16 - Fatores de Ajuste para Vida útil - Materiais

Aço cromo rolamento Normal	$a_2 = 1$
Aço especial fundido à vácuo ( $a_3 < 1$ )	$a_2 > 1$
Aço temperado	$a_2 < 1$

Tabela 17 - Fatores de Ajuste para Vida útil - Condições de trabalho

Quando operando em condições normais, corretamente montados, devidamente lubrificados e na ausência de condições agressivas	$a_3 = 1$
Quando operando sob temperaturas elevadas, o rolamento lubrificado à graxa com viscosidade menor que 13mm <sup>2</sup> /s. O mesmo trabalha sobre baixa velocidade:  $D_{pw} \times n < 10000$ (mmxr/min) $D_{pw}$ = diâmetro médio do rolamento	$a_3 < 1$