



FACULDADE SATC
ENGENHARIA MECÂNICA



**RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE ENGENHARIA MECÂNICA NA ÁREA DE
DIMENSIONAMENTO DE ROLOS PARA CORREIAS TRANSPORTADORAS**

Rodrigo Manenti

Criciúma,
Julho, 2020



Rodrigo Manenti

RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE ENGENHARIA MECÂNICA NA ÁREA DE DIMENSIONAMENTO DE ROLOS PARA CORREIAS TRANSPORTADORAS

Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade SATC, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Maurício D. Neves

Maurício Dominghini Neves, Eng.

Reginaldo Rosso Marcello

Reginaldo Rosso Marcello, Me. Eng.

Criciúma,
Julho, 2020

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Imepel, que além de toda confiança e respaldo depositados, contribuiu de forma valiosa para este trabalho, disponibilizando normas, catálogos e *softwares* para elaboração do mesmo.

Agradece também a Faculdade SATC, especialmente ao núcleo de Engenharia Mecânica, professores e coordenação pelos conhecimentos e valores passados ao longo do curso, tais ensinamentos vão muito além deste relatório e serão levados para o mercado de trabalho e para o restante da vida profissional e pessoal.

RESUMO:

Transportadores de correia ou correias transportadoras são utilizados no transporte contínuo de cargas e podem transportar diversos tipos de materiais com diferentes tamanhos e características. O componente de maior quantidade nas correias transportadoras são os rolos, estes ficam fixos aos cavaletes e espaçados entre si conforme projeto, estes rolos devem suportar a carga gerada pelo material transportado, além do seu próprio peso. O correto dimensionamento destes elementos são de suma importância para o bom funcionamento da correia transportadora, evitando que haja paradas desnecessárias, com isso minimizando os imensos prejuízos que podem ocorrer devido a estes eventos, e até impedindo severos acidentes. Dessa forma, este presente artigo tem como objetivo realizar o dimensionamento dos rolos utilizados nas correias transportadoras, definindo o diâmetro de eixo e o modelo do rolamento necessário para suportar a aplicação e a vida útil mínima requerida, sempre visando reduzir os custos de fabricação dos rolos, para proporcionar melhores oportunidades de vendas.

Palavras-chave: Correias transportadoras. Rolos. Dimensionamento

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista superior Imepel.	09
Figura 2 – Vista frontal Imepel.	09
Figura 3 – (a) Aplicação rolo de carga ; (b) Vista em corte do rolo	10
Figura 4 – Inclinação dos rolos.	12
Figura 5 – Rolete desalinhado.	15
Figura 6 – Disposição das forças.	18
Figura 7 – Deflexão do eixo.	18
Figura 8 – Catálogo técnico de rolamento	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de carga.	12
Tabela 2 – Coeficiente dinâmico de transporte na carga.	13
Tabela 3 – Coeficiente dinâmico de transporte no retorno.	16
Tabela 4 – Vida útil mínima dos rolos.	20

LISTA DE ABREVIações

SIGLAS

SKF - Svenska KullagerFabriken

SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera Catarinense.

NBR – Norma Brasileira.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	4
LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE ABREVIACÕES.....	6
1. INTRODUÇÃO	8
1.2 A Empresa.....	9
2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	10
3. CONCLUSÃO	211
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	212

1. INTRODUÇÃO

Transportadores de correia ou correias transportadoras são utilizados no transporte contínuo de cargas e podem transportar diversos tipos de materiais com diferentes tamanhos e características. Este tipo de transporte é uma interessante solução para a redução dos custos com o transporte dos materiais, já que as correias transportadoras mantêm um fluxo contínuo de material, aumentam a segurança na operação e reduzem o uso de caminhões, ou até mesmo atuam em locais onde os mesmos não conseguem chegar. Estes transportadores podem variar com relação às distâncias de transporte, sendo poucos metros, ou até dezenas de quilômetros. Eles são geralmente aplicados nos segmentos de mineração, portuário, cimenteiro, siderúrgico, petroquímico, celulose e automotivo, podendo realizar deslocamentos em percursos horizontais, inclinados e verticais, também podem ser retos ou curvos. Funcionam, muitas vezes, em conjunto com outros meios de transporte como caminhões, vagões, navios ou outros.

Um dos componentes principais e o de maior quantidade nas correias transportadoras são os rolos. Estes ficam fixos nos suportes, e espaçados entre si conforme projeto. Estes rolos devem suportar a força gerada pela carga transportada na correia, além do seu próprio peso. Para realização de projeto e dimensionamento dos rolos faz-se necessário conhecimento prévio da área de aplicação, de suas particularidades e necessidades, em conjunto com diversos temas da engenharia mecânica.

O mau dimensionamento deste componente gera falhas prematuras, ocasionando paradas não programadas nos transportadores, o que pode resultar, em determinados casos, em milhões de reais de prejuízo ou ainda ocasionar acidentes. Desta forma busca-se entender e conhecer os parâmetros para identificar a carga atuante nos rolos e dimensioná-los da forma mais adequada possível, possibilitando a venda e posterior produção e aplicação dos mesmos de maneira segura.

1.2 A Empresa

Fundada em 20 de novembro de 1996, na cidade de Criciúma, sul de Santa Catarina, a Imepel Indústria Mecânica Ltda demonstrou nos últimos ser um dos maiores fabricantes de componentes para correias transportadoras no Brasil, atuando em todos os estados nacionais e em alguns países da América Latina.

Atualmente a matriz da empresa está instalada em Siderópolis, em uma área total de 25 mil metros quadrados, sendo mais de cinco mil deles de área construída e conta hoje com 160 funcionários diretos.

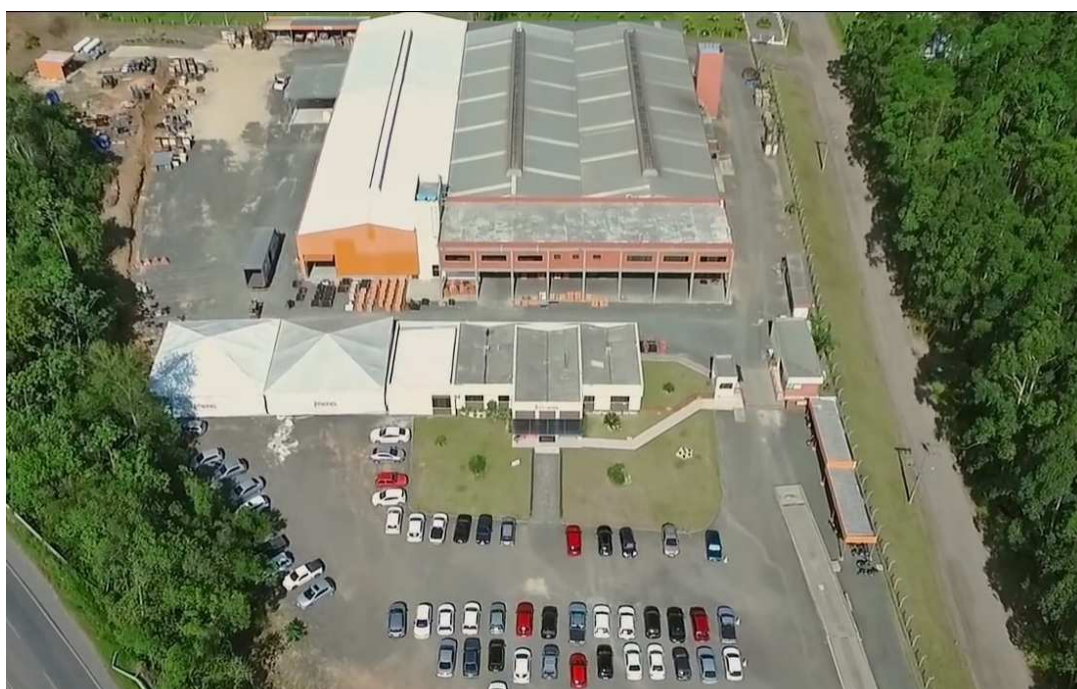


Figura 01 – Vista superior Imepel (Imepel; 2018).



Figura 02 – Vista Frontal Imepel (Imepel; 2018).

2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

O principal objetivo do estágio ocorrido na empresa Imepel, foi realizar o dimensionamento dos rolos aplicados nos transportadores contínuos, com o intuito de definir o rolamento e o diâmetro do eixo mínimo, para suportar a aplicação. Para o critério de dimensionamento, os rolos podem ser divididos em dois grupos principais, os rolos de carga, que devem suportar a carga transportada pela correia, o peso da correia, além do próprio peso do rolo, e os rolos de retorno, que devem suportar apenas o peso da correia e o seu próprio peso.

2.1 Rolos de Carga

Os rolos de carga são os responsáveis por suportar toda a força gerada pelo material, a imagem abaixo (a) demonstra uma das possíveis aplicações destes rolos e a (b) demonstra uma vista frontal em corte, para apresentar a forma construtiva padrão de um rolo.

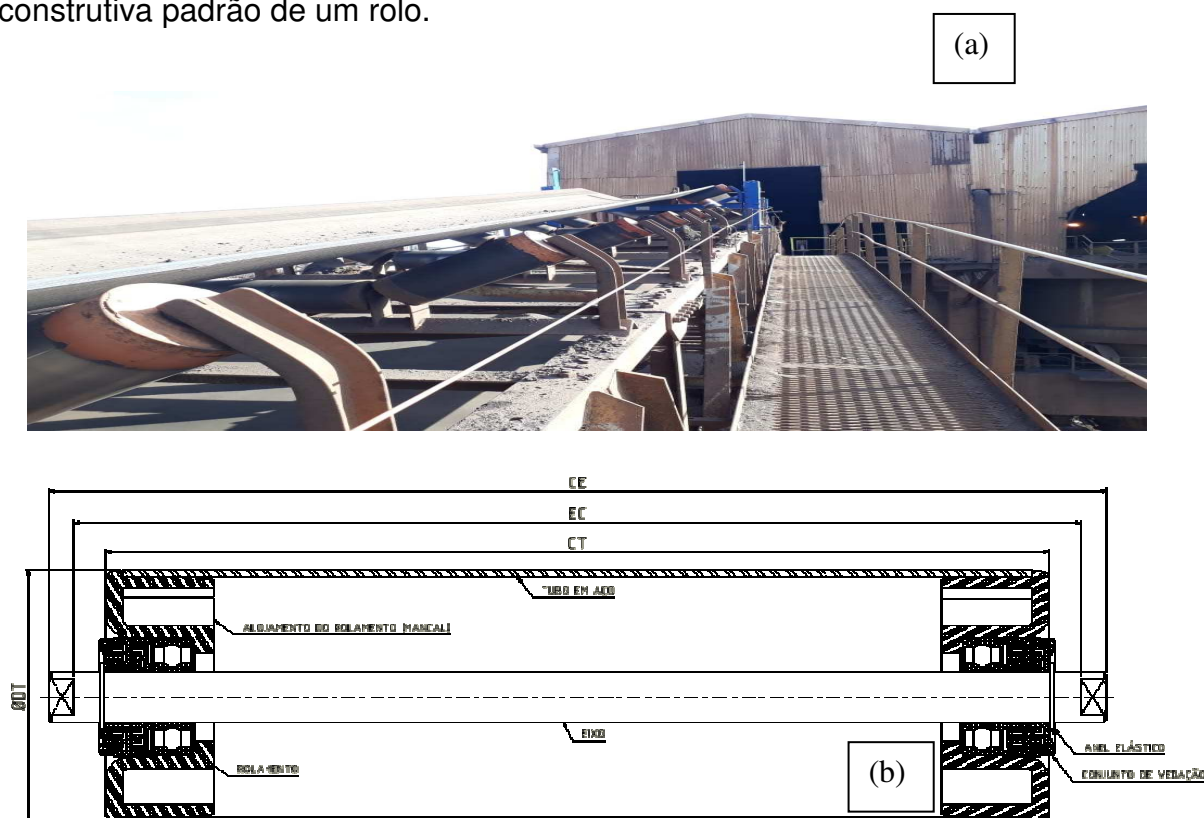


Figura 03 - (a) Aplicação do rolo de carga; (b) Vista em corte (Autor, 2020)

Uma das formas de gerar a carga atuante nos rolos, seguindo a NBR 6678, é a partir da capacidade do transportador e da sua velocidade. Inicialmente utiliza-se a equação 01 abaixo, para determinar a massa do material em quilo por metro, sobre os roletes.

$$qm = \frac{Q}{3,6 \cdot V} \quad (01)$$

Onde:

qm = Massa do material por metro [kg/m]

Q = Capacidade do transportador [ton/h]

v = Velocidade do transportador [m/s]

Após a etapa acima, deve-se calcular a carga (N) atuante no rolete (conjunto constituído de rolo e cavalete), visto isso, o espaçamento entre os cavaletes se faz necessário, e tem influência direta no dimensionamento.

$$Pr = qm \cdot ac \cdot g \quad (02)$$

Onde:

Pr = Carga atuante no rolete [N]

qm = Massa do material por metro [kg/m]

ac = Espaçamento entre os cavaletes [m]

g = Aceleração da gravidade [m/s²]

Os espaçamentos dos roletes de carga são indicados pela norma NBR 6678, porém, podem variar dependendo da necessidade de cada projeto. Conhecendo a carga sobre os roletes (calculada acima), pode-se obter a carga no rolo em que existe a maior sollicitação no cavalete.

$$Pa = Kc \cdot Pr \quad (03)$$

Onde:

Pa = Carga atuante no rolo de maior sollicitação [N]

P_r = Carga atuante no rolete [N]

K_c = Coeficiente de carga no rolo de maior solicitação

Tendo em vista que os roletes de carga podem ter diversas disposições, em relação às quantidades de rolos nos cavaletes e suas respectivas inclinações (conforme figura 04), os coeficientes de carga “ K_c ” citados acima, dependem diretamente destes fatores. A finalidade do coeficiente “ k_c ” é estimar da quantidade de carga total, o quanto está sendo aplicada em um único rolo. Estes coeficientes devem ser utilizados conforme tabela abaixo.

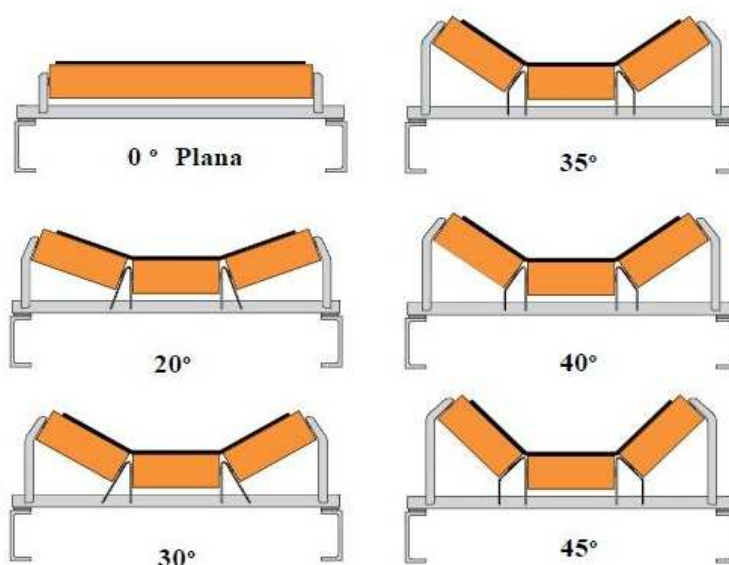


Figura 04 – Inclinação dos rolos (Martin Engineering Company, 2009)

Tabela 01 – Coeficiente de carga

Tipo	Inclinação	Fator K_c
Rolete de rolo único	0°	1,0
Rolete duplo	0° ou 20°	0,5
Rolete triplo	20°	0,6
Rolete triplo	35 °	0,65
Rolete triplo	45°	0,7

Fonte: NBR 6678 (2017)

Além da carga atuante provinda do material transportado, os rolos de carga devem suportar um percentual do peso da correia (variando de acordo com a quantidade de rolos e disposição no cavalete), além do peso das partes girantes do rolo (tubos, flanges e elementos de vedação). Outro fator que se leva em consideração, é que em muitos casos existem “blocos” misturados ao material transportado, provocando impactos nos rolos. Este impacto depende basicamente da velocidade da correia, tamanho e tipo do bloco, este impacto é considerado uma força adicional no rolo, e pode ser mensurado com certa precisão na tabela 02 abaixo.

Tabela 02 – Coeficiente dinâmico de transporte na carga

Maior Bloco (mm)	Massa específica do Material (Kg/m³)						
	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
100	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
150	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
200	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
250	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
300	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3
350	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3
400	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
450	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4

Fonte: NBR 6678 (2017)

Para a geração da chamada “Carga de seleção”, que é utilizada para calcular a deflexão do eixo (que será demonstrada no decorrer deste relatório), há formulas distintas, dependendo da quantidade de rolos nos cavaletes. Para cavaletes planos, se utiliza a equação 04, para cavaletes de carga duplos, a equação 05 e para cavaletes de carga triplos, a equação 06.

$$Ps = (Kdc \cdot Pa) + (qc \cdot ac \cdot g) + Prd \quad (04)$$

$$Ps = (Kdc \cdot pa) + (0,5 \cdot qc \cdot ac \cdot g) + (mpm \cdot g) + Prd \quad (05)$$

$$Ps = (Kdc \cdot Pa) + (0,4 \cdot qc \cdot ac \cdot g) + (mpm \cdot g) + Prd \quad (06)$$

Onde:

Ps = Carga seleção [N]

Pa = Carga atuante no rolo de maior sollicitação [N]

Qc = Massa da correia por metro [m]

Ac = Espaçamento entre cavaletes [m]

Mpm = Massa das partes móveis [kg]

G = Aceleração da gravidade [m/s²]

Prd = Carga no rolo desalinhado [N]

O único fator ainda desconhecido para calcular a carga de seleção nos rolos de carga é o “Prd”, visto nas equações acima, esta carga adicional ocorre quando há rolos que estão desalinhados durante o transportador (Figura 05) e pode ser calculada conforme equação abaixo.

$$Prd = \frac{2 \cdot Dr \cdot Tc}{ad} \quad (07)$$

Onde:

Prd = Carga adicional no rolo desalinhado [N]

Dr = Desalinhamento do rolo [m]

Tc = Tensão de tração na correia [N]

Ad = Espaçamento entre os rolos desalinhados [m]

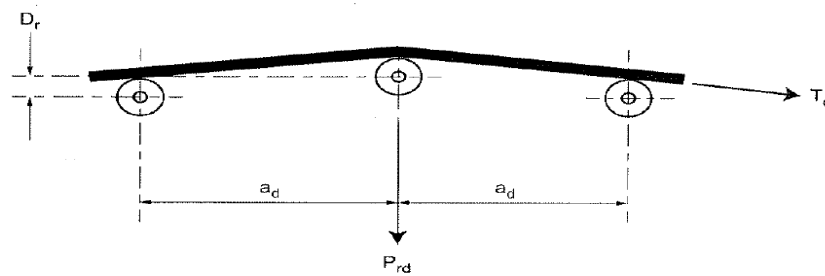


Figura 05 – Rolo desalinhado (NBR 6678,2017)

2.2 Rolos de Retorno

Os rolos de retorno, diferencialmente dos de carga, devem suportar apenas o peso da correia e o seu próprio peso; Inicialmente calcularemos a carga gerada pelo peso da correia, conforme abaixo.

$$Pa = Pr = qc \cdot ar \cdot g \quad (08)$$

Onde:

Pa = Carga atuante no rolo de maior sollicitação [N]

Pr = Carga atuante no rolete [N]

Qc = Massa da correia por metro [m]

Ar = Espaçamento entre cavaletes de retorno [m]

G = Aceleração da gravidade [m/s²]

Para geração da “carga de seleção” dos rolos de retorno, deve-se levar em consideração a quantidade de rolos nos cavaletes, assim como nos rolos de carga, dessa forma, para rolos de retorno simples, utiliza-se a equação 09, para rolos de retorno duplos a equação a ser utilizada é a de número 10.

$$Ps = (Kdr \cdot Pa) + (mpm \cdot g) + Prd \quad (09)$$

$$Ps = (0,5 \cdot Kdr \cdot Pa) + (mpm \cdot g) + Prd \quad (10)$$

Onde:

P_s = Carga seleção [N]

K_{dr} = Coeficiente dinâmico de transporte no retorno

P_a = Carga atuante no rolo de maior solitação [N]

M_{pm} = Massa das partes móveis [kg]

G = Aceleração da gravidade [m/s^2]

P_{rd} = Carga adicional no rolo desalinhado [N]

O coeficiente dinâmico de transporte no retorno, depende basicamente da velocidade dos rolos, pois existe uma tendência de que quanto maior a velocidade, maior a vibração existente nos roletes, dessa maneira, criando uma carga adicional, que deve ser utilizada conforme Tabela 03.

Tabela 03 - coef. dinâmico de transporte no retorno.

Velocidade da correia (m/s)	Fator
0,5	1,0
1,0	1,0
1,5	1,2
2,0	1,2
2,5	1,2
3,0	1,2
3,5	1,35
4,0	1,35
4,5	1,35
5,0	1,4
5,5	1,4
6,0	1,4

2.3 Deflexão do eixo

Após o cálculo da carga de seleção, deve-se calcular a deflexão máxima do eixo, para não prejudicar a vida útil dos rolamentos a norma NBR 6678 definiu que a deflexão máxima permitida nos rolos é de 9 minutos angulares, e deve ser calculada conforme abaixo.

$$Tg \beta = \frac{Ps \cdot A \cdot (B - 2 \cdot A)}{4 \cdot E \cdot I} \quad (11)$$

Onde:

β = Deflexão do eixo [rad]

Ps = Carga de seleção [N]

A = Distância do centro do rolamento ao ponto de fixação [mm]

B = Distância entre encaixes do rolo [mm]

E = Modulo de elasticidade do aço [21×10^4 Mpa]

I = Momento de inércia do eixo [mm⁴]

Após, deve-se passar o valor da deflexão para minutos, conforme abaixo.

$$Def = \beta \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \cdot 60 \quad (12)$$

As figuras abaixo auxiliam no entendimento das variáveis “A” e “B”, citadas acima, e de como as forças são distribuídas no eixo de um rolo.

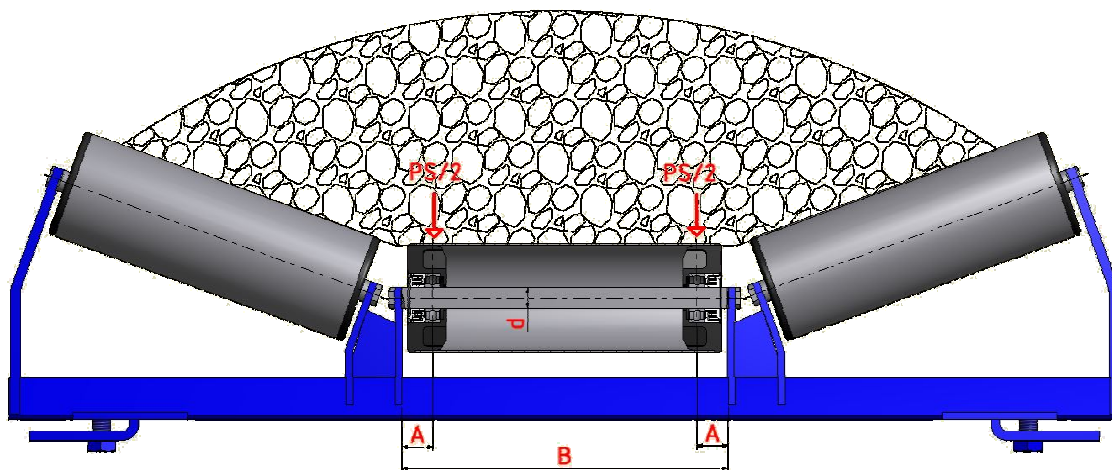


Figura 06 – Disposição das forças (Do autor,2020)

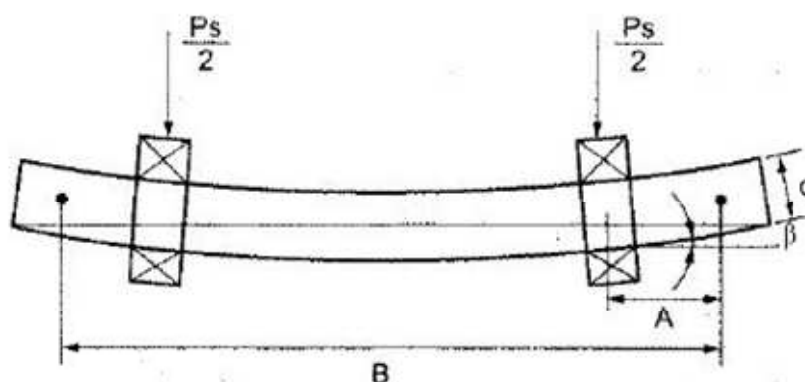


Figura 07 – Deflexão eixo; (Fonte: NBR 6678)

Após o cálculo, caso o resultado final, seja maior que 9 minutos angulares (permitido por norma) deve-se aumentar o diâmetro do eixo, o que resultará em uma menor deflexão, até esta estar dentro do aceitável pela norma.

2.4 Vida útil do rolamento

Após a definição do diâmetro do eixo mínimo necessário para suportar a aplicação, deve-se analisar se o rolamento para o diâmetro de eixo calculado, irá também suportar a aplicação e a vida útil mínima requerida. Apesar de entendermos que a vida útil do rolo depende de muitos fatores, tais como, material transportado,

espessura da parede do tubo, eficiência da vedação do rolamento, entre outros, utilizamos a vida útil teórica do rolamento “L10h” (conforme indicado pela norma), para estimar a vida útil teórica do rolo. Entende-se como “L10h” a vida útil do rolamento em número de horas, a uma determinada rotação, dos quais 90% dos rolamentos atingem antes de apresentar os primeiros sinais de descascamento (fadiga) dos seus anéis ou corpos rolantes.

A vida útil mínima requerida pela norma se encontra na tabela 04 abaixo, e a equação para o cálculo da vida útil teórica do rolamento, com 90% de confiabilidade, é apresentada na equação 13.

Tabela 04 – Vida útil mínima dos rolos

Série (mm)	Vida útil Mínima L10h (h)	Rotação Máxima do rolo (r/min)
15	30.000	600
20	30.000	600
25	30.000	600
30	60.000	600
40	60.000	600
45	60.000	600
50	60.000	600
60	60.000	600

A tabela acima define a vida útil teórica dos rolos, dependendo do diâmetro do eixo, ou seja, para um rolo que apresenta um diâmetro de eixo de 15 mm, a vida útil mínima requerida é de 30.000 horas, e conforme já citado, é calculada a partir da equação abaixo.

$$L10h = \left(\frac{1000000}{60} \cdot n \right) \cdot \left(\frac{C}{P_{eq}} \right)^x \quad (13)$$

Onde:

L10h = Vida útil teórica [Horas]

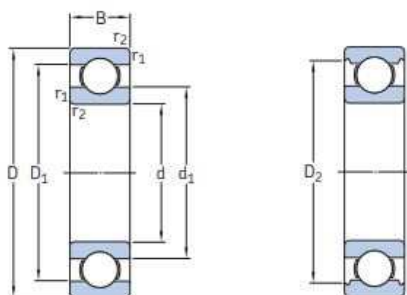
N = Rotação do rolo [RPM]

C = Capacidade de carga dinâmica do rolamento [N]

P_{eq} = Carga exercida no rolamento [N]

$X = 3$ (Rolamentos de esferas)

Para conseguir o valor de “C”, deve-se consultar o catálogo do fabricante de rolamentos, como dados de entrada deve-se ter o modelo do rolamento que será utilizado no rolo (conforme Fig. 08).



Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga P_u	Classificações de velocidade		Massa kg	Designação
d	D	B	dinâmica C	estática C_0		Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min	kg		-
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,06	* 16005
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,078	* 6005
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	18 000	0,13	* 6205
	52	15	17,8	9,8	0,4	28 000	18 000	0,12	6205 ETN9
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	16 000	0,23	* 6305
	62	17	26	13,4	0,57	24 000	16 000	0,22	6305 ETN9
	80	21	35,8	19,3	0,815	20 000	13 000	0,54	6405
	28	58	16	16,8	9,5	0,405	26 000	16 000	0,17
68		18	25,1	13,7	0,585	22 000	14 000	0,3	63/28
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,025	61806
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,049	61906
	55	9	11,9	7,35	0,31	28 000	17 000	0,089	* 16006
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	17 000	0,12	* 6006
	62	16	20,3	11,2	0,475	24 000	15 000	0,2	* 6206
	62	16	23,4	12,9	0,54	24 000	15 000	0,18	6206 ETN9
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	13 000	0,35	* 6306
	72	19	32,5	17,3	0,735	22 000	14 000	0,33	6306 ETN9
35	90	23	43,6	23,6	1	18 000	11 000	0,75	6406
	47	7	4,36	3,35	0,14	30 000	18 000	0,029	61807
	55	10	10,8	7,8	0,325	26 000	16 000	0,08	61907
	62	9	13	8,15	0,375	24 000	15 000	0,11	* 16007
	62	14	16,8	10,2	0,44	24 000	15 000	0,15	* 6007
	72	17	27	15,3	0,655	20 000	13 000	0,29	* 6207
	72	17	31,2	17,6	0,75	20 000	13 000	0,26	6207 ETN9
	80	21	35,1	19	0,815	19 000	12 000	0,46	* 6307
	100	25	55,3	31	1,29	16 000	10 000	0,97	6407

Figura 08 – Catálogo técnico de rolamento (Fonte: SKF)

O exemplo demonstrado na Fig. 08 é de um rolamento para eixo de 25 milímetros de diâmetro, modelo “6205” que nos resulta em uma capacidade de carga de 14.800 Newtons.

Se após a utilização da equação 13, o resultado for igual ou superior ao indicado na tabela 04 (um rolamento para eixo de 25 mm, seria de 60.000 horas), o rolo está teoricamente apto a ser aplicado em correias transportadoras, seguindo todos os critérios de cálculos definidos pela NBR 6678.

3. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste relatório utilizou-se conhecimento adquiridos durante todo o curso de Engenharia mecânica, demonstrando a relevância dos conteúdos apresentados. Matérias como, resistência dos materiais e elementos de máquina, foram de suma importância para o entendimento claro e facilitado do dimensionamento dos rolos.

Entendeu-se a importância de um correto dimensionamento dos rolos utilizados em correias transportadoras, evitando-se paradas não programadas, que podem ocasionar imensos prejuízos ao cliente e até gravíssimos acidentes que ocorrem devido a quebras prematuras destes elementos. É sabido que existem inúmeros fatores não controláveis que podem causar interferência na vida útil dos rolos, porém, é dever de cada fabricante estar dentro dos cálculos teóricos, exigidos em norma e utilizar do know-how adquirido durante os anos para diminuir a discrepância entre os resultados calculados e obtidos na aplicação.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IMEPEL, Empresa. <https://www.imepel.com.br/> Acesso em 18 de Março de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6678: Transportadores contínuos – Transportadores de correia – Roletes – Projeto, seleção e padronização. Rio de Janeiro, 2017.

Especial Rolamento, Empresa. <https://www.especialrolamentos.com.br/> Acesso em 09 de Abril de 2020

SKF, Empresa. [https://www.skf.com/br /](https://www.skf.com/br/) Acesso em 21 de Abril de 2020

Thech, Empresa. <https://tech.thk.com/> Acesso em 25 de Abril de 2020