

Transmissão de energia mecânica por meio de correias flexíveis

David Lira Nunez¹

¹Federal University of Technology - Paraná (UTFPR)

24 de setembro de 2020

Resumo

Uma grande quantidade de equipamentos é acionada por motores elétricos que transmitem uma determinada rotação e torque por meio de sistemas de transmissão flexíveis, especificamente pelo uso de correias. Estas apresentam, no seu perfil transversal, o formato em V, mas também existem correias que, comparadas com as de formato em V, oferecem maior precisão de rotação entre o sistema de acionamento e o sistema acionado, ou seja, sincronizam a rotação durante a partida, o funcionamento e a parada da máquina, e é daí o nome do segundo tipo de correias de transmissão flexíveis, as correias síncronas ou sincronizadoras. Embora as correias sejam um elemento mecânico de suma importância na nossa atualidade, poucas atualizações foram encontradas na literatura consolidada dos cursos de Engenharia Mecânica, forçando em alguns casos a seguir o procedimento de cálculo errado ou desatualizado para a seleção de um tipo de correia, levando em consideração o que hoje se encontra disponível no mercado. Nesse sentido, esta publicação busca apresentar os cálculos consolidados da literatura acadêmica para a seleção correta de uma correia flexível e atualizar os mesmos com gráficos e fatores padronizados pelos principais fabricantes desse tipo de elemento mecânico. Também são abordadas as principais normas internacionais usadas para a fabricação de correias e suas respectivas polias. Finalmente, com o intuito de consolidar o procedimento de cálculo de uma correia de transmissão, é apresentado um estudo de caso que busca a seleção da melhor correia flexível.

1 Introdução

Para (Wicker & Lewis, 2015), o acionamento de máquinas como compressores, máquinas-ferramentas, laminadores de metais e motores de automóveis, entre outros, usando correias flexíveis de transmissão, tem a característica de isolar impactos durante o funcionamento das máquinas, oferecer distâncias graduáveis de funcionamento entre eixos de transmissão e movido, além de tolerar graus de desalinhamento entre eixos maior que uma engrenagem, por

exemplo. As correias são fabricadas com superfícies de borracha sintética para aumentar o coeficiente de atrito quando instaladas nos canais de uma polia. As correias de transmissão internamente podem ser reforçadas com fibras, cabos, cordas ou cintas, para suportar a tração exercida durante o acionamento e funcionamento de uma máquina.

A velocidade linear de uma correia geralmente deve estar no intervalo de 13 m/s a 33 m/s, consequentemente a velocidade angular deve ser relativamente alta, o que mitiga a força de tração contínua. Quando a velocidade linear for muito baixa, pode comprometer negativamente a tensão na correia, como também gerar desgastes prematuros nas superfícies de contato pelo constante deslizamento dos elementos, canal da polia e correia. Por outro lado, superar as velocidades recomendadas de projeto pode acionar de forma negativa a força centrífuga, provocando vibrações e o chicotear da correia que comprometem negativamente a sua vida útil remanescente (RUL – inglês *Remaining Useful Life*). Nesse sentido, normalmente se recomenda o trabalho a uma velocidade linear próxima de **20 m/s**, e caso a velocidade seja inferior a 13 m/s, deve ser considerada a transmissão por correia sincronizadora; nesse caso a velocidade linear recomendada para uma correia sincronizada é de aproximadamente **10 m/s** (Mott, 2013).

Durante a transmissão a correia que está em volta da polia tem um lado tensionado fruto da tração tangencial que produz com a polia e, nesse mesmo intervalo de tempo, existe um outro lado da correia que está frouxo. Após a primeira hora de funcionamento da correia, recomenda-se que haja uma verificação do tensionamentos da mesma, seguindo recomendações do fabricante de correias. Além disso, (Mott, 2013) estima que uma correia tem aproximadamente uma vida útil entre 5 000 a 7 000 horas (aproximadamente entre 7 a 10 meses), e as polias uma vida útil de 25 000 horas (aproximadamente 2 anos e 10 meses).

Em comparação às correias em V, as sincronizadoras tem uma menor tração no início da partida do sistema e também durante seu funcionamento o lado tensionado da correia é menos tracionado quando comparado ao da correia em V. A correia sincronizadora ou síncrona possui frisos equidistantes que engatam perfeitamente em ranhuras de uma polia dentada, conseguindo uma sincronização efetiva de transmissão. Além disso, possui baixas velocidades de operação para o mesmo tipo de aplicação quando comparadas com as correias em V (Mott, 2013).

2 Tipos de correias

A seguir são apresentados os tipos de correias mais usados na indústria a partir do catálogo da (GATES, 2015). Cabe registrar que além desse fabricante existem vários outros que usam esse mesmo tipo de correias já que são padronizadas por normas mas, cada fabricante desenvolve outros tipos de correias que devem ser consultados com mais detalhamento, caso seja

necessário.

2.1 Correia em V clássicas:

Essas correias apresentam um perfil clássico em V e a sua geometria é fabricada seguindo a norma (ISO 4184, 1992) para oferecer um rendimento confiável em todas as transmissões industriais de seção clássica. São usadas geralmente em: compressores, bombas, alternadores, serras, moinhos, máquinas de processos, entre outros equipamentos. Cordas de tração de poliéster robustos proporcionam resistência a forças de flexão, fadiga e altas cargas. Caso sejam destinadas ao uso em ambientes explosivos ou em situações em que há risco de incêndio, e seja necessário que tenham a característica de poderem dissipar as cargas elétricas, devem ser fabricadas seguindo a norma (ISO 1813, 2014). Estas correias possuem uma proteção na sua superfície que isola óleos que possam causar problemas de aderência, além de protegê-las contra a abrasão. Suportam temperaturas de -30 °C a 70 °C.

Esse tipo de correias funciona para polias que seguem a norma (ISO 4183, 1995), onde são especificadas as principais características dimensionais dos perfis para polias em V clássicas. As correias clássicas em V podem ser encontradas nas seções: A (com comprimentos de passo de 541 a 5 113 mm), B (com comprimentos de 655 a 13 358 mm), C (com comprimentos de 1 191 a 11 453 mm), D (com comprimentos de 2 370 a 16 848 mm), E (com comprimentos de 3 772 a 16 789 mm) e Z (com comprimentos de 435 a 1 825 mm).

Em alguns projetos há a necessidade de mais de um mesmo tipo de correia. Para esses casos, podem ser encontradas correias que já vêm de fábrica com o número de correias unidas, nesse caso na letra que determina a seção da correia deve ser antecedido o número de correias necessárias. Para aplicações industriais normalmente esta configuração é encontrada para as seções A, B, C e D, i.e., se precisa-se de 4 correias seção B, pode ser solicitado uma correia 4B.

Ainda podem ser encontradas correias clássicas com seção Y mas, não se recomenda mais seu uso visto que as polias para esse tipo de correia podem ter polias com diâmetros de passo pequenos, podendo degradar rapidamente a vida útil da correia. Para esses casos, quando o diâmetro da polia é pequeno, recomenda-se usar correias dentadas ou chamadas de correias em V estreitas. Na Figura 1 são apresentadas as medidas das correias clássica em V.

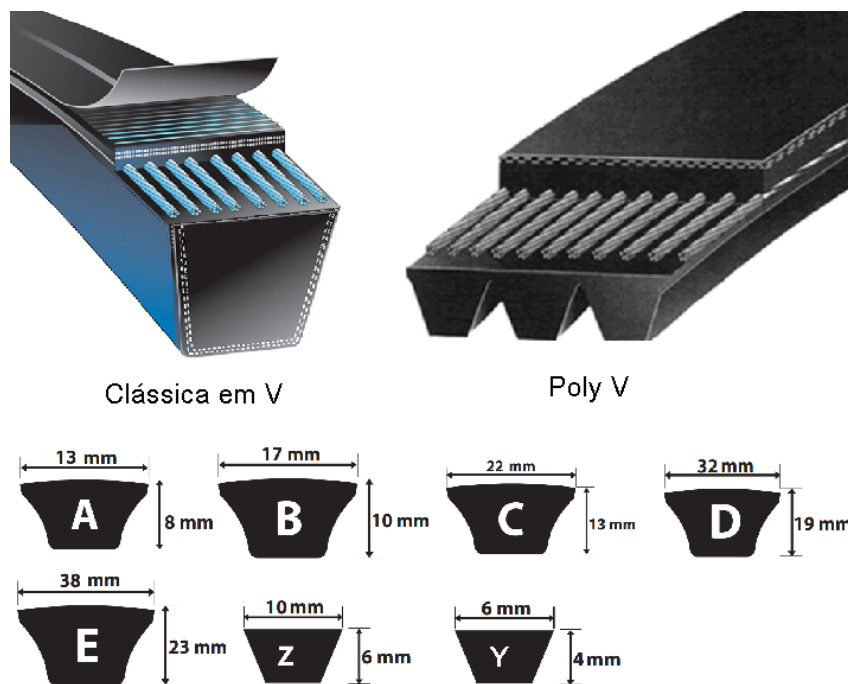


Figura 1: Correias em V clássicas

2.2 Correia em V estreitas

Essas correias transmitem mais potência a altas velocidades para polias com diâmetros pequenos. Ideais para aplicações industriais pesadas, essas correias também são fabricadas seguindo a norma (ISO 4184, 1992). Seu seccionamento dentado permite se adaptar a circunferências pequenas, distribuindo de forma efetiva a tensão térmica e de flexão, e na sua fabricação também podem seguir a norma (ISO 1813, 2014). Além disso, permitem um funcionamento mais suave e silencioso, com menos deslizamento e desgaste da correia. Normalmente trabalham no intervalo de temperatura de -30°C a 60°C .

Esse tipo de correia funciona para polias que seguem a norma (ISO 4183, 1995), que especifica as principais características dimensionais dos perfis para polias em V estreitas. Os perfis podem ser encontrados nas seções: SPA (com comprimentos de 1 700 a 4 500 mm), SPB (com comprimentos de 2 990 a 8 000 mm), SPC (com comprimentos de 2 000 a 11 200 mm) e SPZ (com comprimentos de 3 000 a 3 550 mm).

Outro tipo de correia estreita são as de seção: 3V (com comprimentos efetivo de 1 143 a 3 556 mm), 5V (com comprimentos efetivo de 1 524 a 9 017 mm) e 8V (com comprimentos efetivo de 2 540 a 15 240 mm). Esse tipo de correia funciona para polias que seguem a norma (ISO 5290, 2001) ou (DIN 7753-1, 1988), que especifica as principais características dimensionais dos perfis para polias em V estreitas.

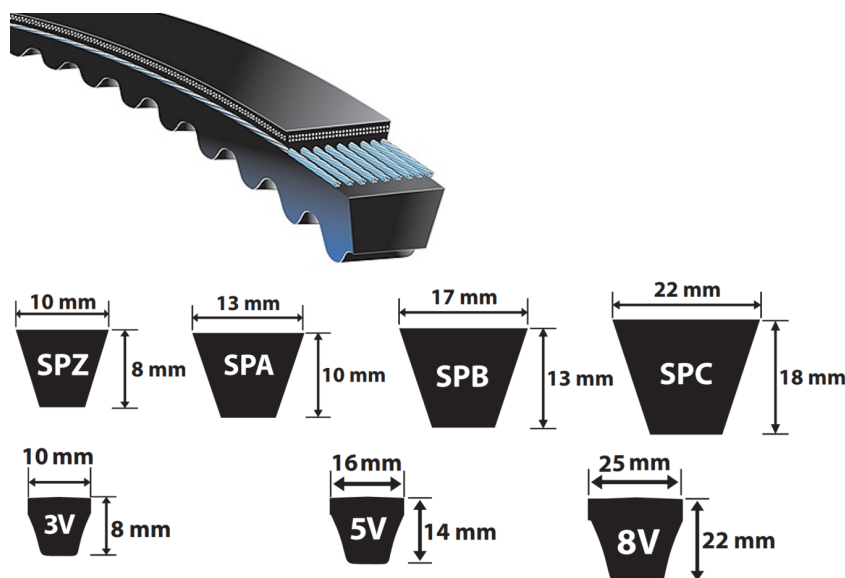


Figura 2: Correias em V estreitas

A seguir é apresentada uma imagem na Figura 3 com medidas definidas pelas normas (ISO 4183, 1995) e (DIN 7753-1, 1988). Esses valores foram extraídos do programa de Projeto Assistido por Computador (CAD – do inglês *Computer-Aided Design*), (Solid Edge, 2020).

PERFIL DO CANAL: ISO 4183: 1995												DIN 7753-1: 1988			
Tipo Seção		Classicas						Estreita				Estreita			
		Y	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC	3V	5V	8V
W _d	42°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,44	14,2	23,48
	40°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,46	14,25	23,58
	38°	-	8,62	11,11	14,59	18,69	26,42	33,39	8,32	10,81	13,89	18,69	8,49	14,3	23,68
	36°	4,96	-	-	-	-	26,74	33,76	-	-	-	-	8,51	-	-
	34°	-	8,78	11,32	14,86	19,06	-	-	8,48	11,02	14,16	19,06	-	-	-
	32°	5,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b (mín.)		1,6	2	2,75	3,5	4,8	8,1	9,6	2	2,75	3,5	4,8	0,6	1,3	2,5
h (mín.)		4,7	7	8,75	11	14,2	19,9	23,4	9	11,05	14	19	8,4	13,7	22,5
e		8	12	15	19	25,5	37	44,5	12	15	19	25,5	10,3	17,5	28,6
f		6	7	9	11,5	16	23	28	7	9	11,5	16	8,7	12,7	19
d _a (de - até)		20 - 125	50 - 560	75 - 800	125 - 1120	200 - 2000	355 - 2000	500 - 2500	63 - 630	90 - 800	140 - 1120	224 - 2000	63 - 630	180 - 1120	315 - 2000
α para d _a	42°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 315	≥ 400	≤ 560
	40°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 160	≥ 224	≥ 400
	38°	-	≥ 80	≥ 118	≥ 180	≥ 315	≥ 475	≥ 600	≥ 80	≥ 118	≥ 180	≥ 315	≥ 80	≤ 224	< 400
	36°	≥ 63	-	-	-	< 475	< 600	-	-	-	-	-	≤ 80	-	-
	34°	-	< 80	< 118	≤ 180	< 315	-	< 80	< 118	≤ 180	< 315	-	-	-	-
	32°	< 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Technical drawing of a channel profile showing dimensions f, e, d, b, h, and angles alpha and beta. It also shows the profile of the channel with dimensions f, e, d, b, h, and angles alpha and beta. The drawing is labeled "DIN 7753-1: 1988" and "DIN 7753-1: 1988".

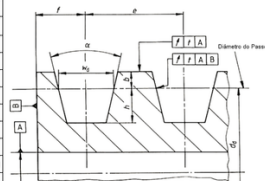


Figura 3: Geometria de polias clássicas e estreitas

2.3 Correia em V ângulo duplo

Correias projetadas para sistemas que precisam de transmissão em ambos os lados da correia. Uso para várias aplicações industriais onde o sistema de transmissão precisa de inversão de rotação. O seu formato proporciona um contato completo com o canal da polia e são resistentes ao óleo, calor e à condutividade estática. Suportam intervalos de temperatura de -30°C a +60°C. Estão disponíveis na seção AA (com comprimentos efetivo de 1 349 a 53 812 mm), BB (com

comprimentos efetivo de 963 a 7 656 mm), CC (com comprimentos efetivo de 2 011 a 10 723 mm) e DD (com comprimentos efetivo de 6 926 a 9 212 mm).

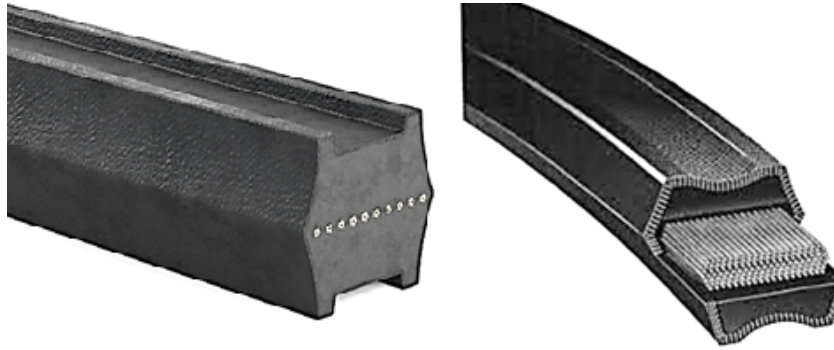


Figura 4: Correias em V de ângulo duplo

2.4 Correias Micro-V Industriais

Essas correias se adaptam a equipamentos eléctricos de exteriores, transportadores de rolos, máquinas ferramentas, entre outros. Possuem boa resistência à água, óleo e calor e são silenciosas. Os canais alternados permitem uma maior flexibilidade, diminuindo a concentração de calor e melhorando a resistência a fissuras, diferentemente das poly-V, estas podem ser usadas em polias de pequenos diâmetros, e também em uma polia com canais ou sem canais. Podem ser encontradas com ranhuras de 4 a 324.

Esse tipo de correias funciona para polias que seguem a norma (ISO 9982, 1998), que especifica as principais características dimensionais dos perfis de ranhura para polias com nervuras em V, correspondentes as seções PJ (com ranhuras de 4 a 24 e comprimento efetivo de 280 mm a 2 489 mm), PK (com 324 ranhuras e comprimento efetivo de 630 a 2 845 mm), PL (desde 4 a 48 ranhuras com diâmetro efetivo de 954 mm a 6 093 mm) e PM (desde 4 ranhuras com diâmetro efetivo de 2 286 mm a 15 286 mm).

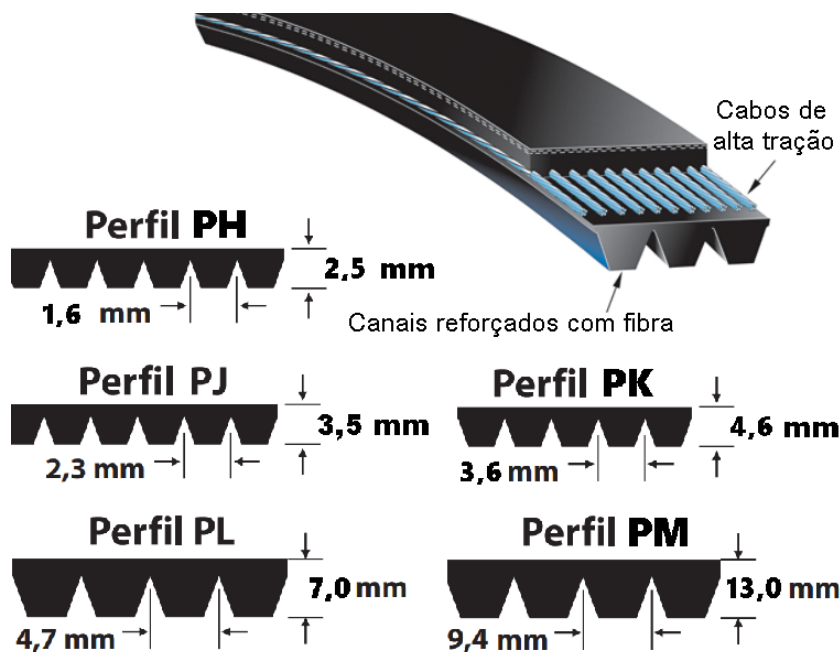


Figura 5: Correias múltiplas Micro-V

A seguir é apresentada uma imagem com medidas definidas pela norma (ISO 9982, 1998). Esses valores foram extraídos do CAD, (Solid Edge, 2020).

Perfil do canal ISO 9982:1998					
	Seção				
	PH	PJ	PK	PL	PM
α	40°	40°	40°	40°	40°
Sg	1,6	2,34	3,56	4,7	9,4
Se	1,3	1,8	2,5	3,3	6,4
dB	1	1,5	2,5	3,5	7
2a	0,11	0,23	0,99	2,36	4,53
Rt	0,15	0,2	0,25	0,4	0,75
Rb	0,3	0,4	0,5	0,4	0,75

Aacabamento superficial de pelo menos $Ra = 3,2 \text{ } [\mu\text{m}]$

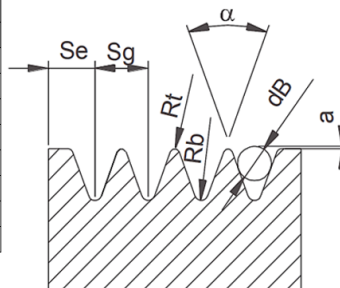


Figura 6: Geometria da polia Micro-V

2.5 Correias síncrona

Oferecem pouca manutenção, são aplicadas desde o uso numa pequena impressora até máquinas de grande porte (bombas de óleo, etc.). Seu perfil dentado trapezoidal faz com que seja adequada para aplicações onde precisam de um ótimo posicionamento. Possui reforços com cabos de fibra de vidro que evitam alongamentos. Seu corpo de neoprene oferece proteção contra sujeiras, graxas, óleos e umidade. Os dentes da correia são revestidos de nylon o que faz deles resistentes ao desgaste.

Suportam temperaturas externas, não precisam de lubrificação e de constantes tensionamentos. O intervalo de temperatura que suportam é de -30°C a $+100^{\circ}\text{C}$. Aguentam velocidades lineares de até 80 m/s. e não oferecem deslizamento.

Disponíveis em passos com seção trapezoidal MXL (com número de dentes de 36 a 681), XL (com número de dentes de 21 a 425), L (com número de dentes de 33 a 252), H (com número de dentes de 42 a 466), XH (com número de dentes de 58 a 200), XXH (com número de dentes de 56 a 144). A norma que determinava a geometria dessas até 2 018 era a (ISO 5296, 2012), atualmente a ISO ainda não informou qual será a substituta dessa norma. Por esse motivo, as especificações geométricas das polias e correias dentadas de formato trapezoidal podem seguir norma (ISO 5294, 2012).

Também existem correias sincronizadoras, mas o perfil dos dentes não é trapezoidal e sim circular, estes podem ser encontradas em seções 3M (com número de dentes de 29 a 668), 5M (com número de dentes de 24 a 760), 8M (com número de dentes de 33 a 350), 14M (com número de dentes de 56 a 327) e 20M (com número de dentes de 100 a 330). Para sua especificação da geometria de correia e polia usa-se a norma (ISO 13050, 2014).

Para a (Optibel, 2020), quando as correias sincronizadoras precisam ser usadas em ambientes explosivos ou em situações em que há risco de incêndio, e seja necessário que tenham a característica de poderem dissipar as cargas elétricas, devem ser fabricadas seguindo a norma (ISO 9563, 2015)

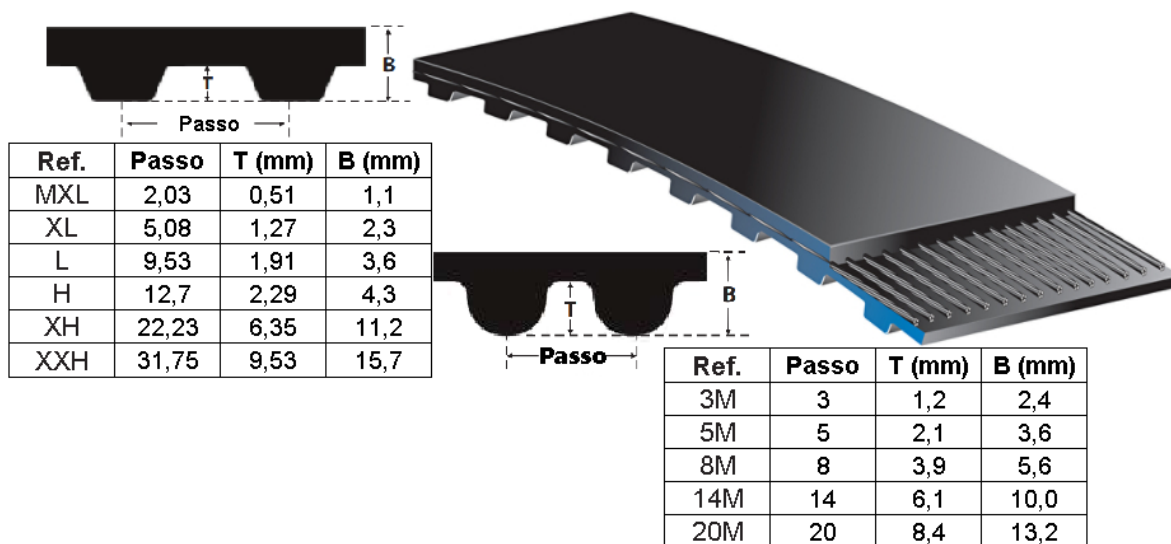


Figura 7: Correias sincronizadoras

3 Dimensionamento de correias de transmissão em V

As correias com ranhura transversal que possuem perfil em V, normalmente apresentam um ângulo dessa ranhura definido em normas, que pode ser entre 34° a 42° e depende basicamente do diâmetro de passa, d_d , calculado (Mott, 2013).

O tamanho do diâmetro de uma polia é indicado pelo diâmetro de passo (d_d), levemente menor que o diâmetro exterior. A polia que gera o movimento angular é chamada de polia motriz ou motora, e a outra polia é chamada de polia movida ou acionada.

A velocidade linear na polia, considerando que não há deslizamento entre correia e canal da polia, é a mesma para a polia motriz e movida. A velocidade linear na polia pode ser encontrada usando a Equação 1 (Mott, 2013).

$$V = \pi \cdot d \cdot \omega_1 \quad (1)$$

onde a velocidade linear, V , em m/s; o diâmetro da polia, d , em m; e a rotação, ω , em rps.

O torque do sistema motriz pode ser encontrado com a Equação 2 (Budynas & Nisbett, 2014).

$$T = \frac{P \cdot 9,55}{\omega} \quad (2)$$

onde o torque, T , é dado em $N\cdot m$; a potência, P , em W ; e a rotação, ω , em rpm .

Dessa forma, o índice de velocidade, i , que é a relação entre as polias, pode ser encontrado com a Equação 3 (Mott, 2013).

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D}{d} \quad (3)$$

onde ω_1 é a rotação angular da polia motriz; ω_2 a rotação da polia movida, D é o diâmetro de passo da Polia maior (normalmente a movida) e d é o diâmetro da polia menor (normalmente a polia motriz). A simbologia básica usada no cálculo de uma correia de transmissão em V é apresentado na Figura 8, que é uma adaptação de (Budynas & Nisbett, 2014).

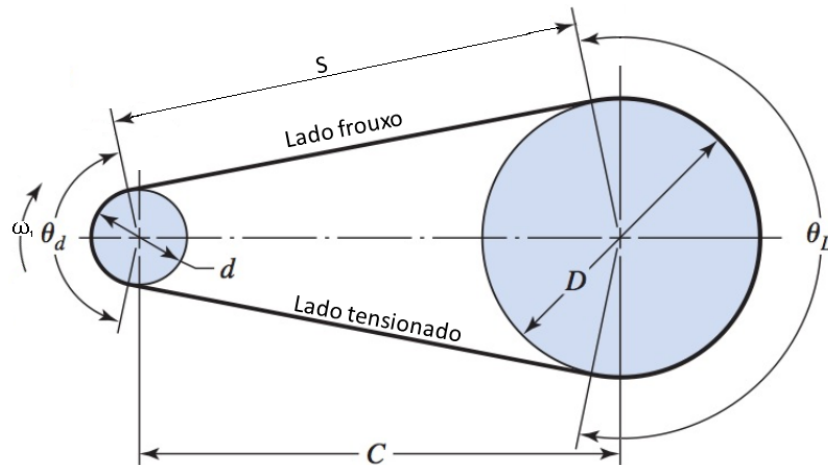


Figura 8: Geometria básica de uma transmissão por polias

Há maior tensão de trabalho no lado tensionado da correia do que no lado frouxo, porém o ponto onde ocorre a maior tensão é quando a correia entra na polia de menor diâmetro. É por esse motivo que cada tipo de correia, dependendo do formato de seção transversal, tem um diâmetro mínimo projetado para cada polia. Quanto menor diâmetro de polia, maior a degradação da correia e consequente redução da sua vida útil remanescente. Durante o projeto de uma correia em V costuma-se considerar que a relação entre o lado tensionado e frouxo é de 5 (Mott, 2013).

Normalmente, quando projetamos correias em V a relação entre polia acionada e motora não deve passar o valor de 6:1. Para correias sincronizadas, essa relação pode chegar até 7:1. Caso seja necessário extrapolar essas relações, devem ser instaladas mais reduções (Mott, 2013).

No cálculo do comprimento da correia deve ser considerado que a mesma fique bem tracionada, por meio de tensionadores ou mancais esticadores. A folga aceitável da correia deve ser conforme recomendação do fabricante.

Um dado importante a ser considerado no início do projeto de uma correia é a potência do projeto, P_d , que deve ser a multiplicação da potência fornecida de entrada, P_r , vezes o fator de serviço, f , que será determinado pelo tipo de acionamento e tipo de máquina acionada, que pode ser encontrado usando a Tabela 1. Essa tabela é uma adaptação dos trabalhos de (Mott, 2013; Budynas & Nisbett, 2014; SKF, 2012).

Os valores da Tabela são para sistemas de redução, ou seja, a polia menor é a motriz. Quando o sistema tem uma relação de ampliação, os valores da Tabela 1 devem ser multiplicados por 1,2 (Mott, 2013).

Tabela 1: Fator de serviço entre tipo de acionamento e máquina acionada para correias em V

	Motor elétrico partida leve			Motor elétrico partida pesada		
	Motor <10 h por dia	Motor multi 10 - 16 h por dia	Motor cilindros >16 h por dia	Motor <10 h por dia	Motor ≤ a 4 10 - 16 h por dia	Motor cilindros >16 h por dia
Carga segundo tipo de máquina acionada						
Uniforme: Transportadores de correias leves, bombas centrífugas, compressor, ventilador e soprador abaixo de 7,5 kW	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Choque leve: Agitadores, bomba rotativa, gerador, máquinas ferramentas, misturadores, ventilador e soprador acima de 7,5 kW, transportador de cascalho, peneira rotativa	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Choque médio: elevador de canecas, máquina de tijolo, bomba de pistão, máquina têxtil, moinho martelo, pulverizador, transportadores pesados, prensa, guilhotina, máquina de borracha, peneira vibratório	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Choque pesado: Triturador, moinho de bolas, guindastes, extrusores	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8
Máquina que pode afogar	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

A seguir, deve ser escolhido o tipo de correia a ser usada. Para tal, nos gráficos para selecionar o tipo de correia, ingressa-se a potência do projeto e a rotação em rpm. Os gráficos apresentados

a seguir são adaptações de (SKF, 2012).

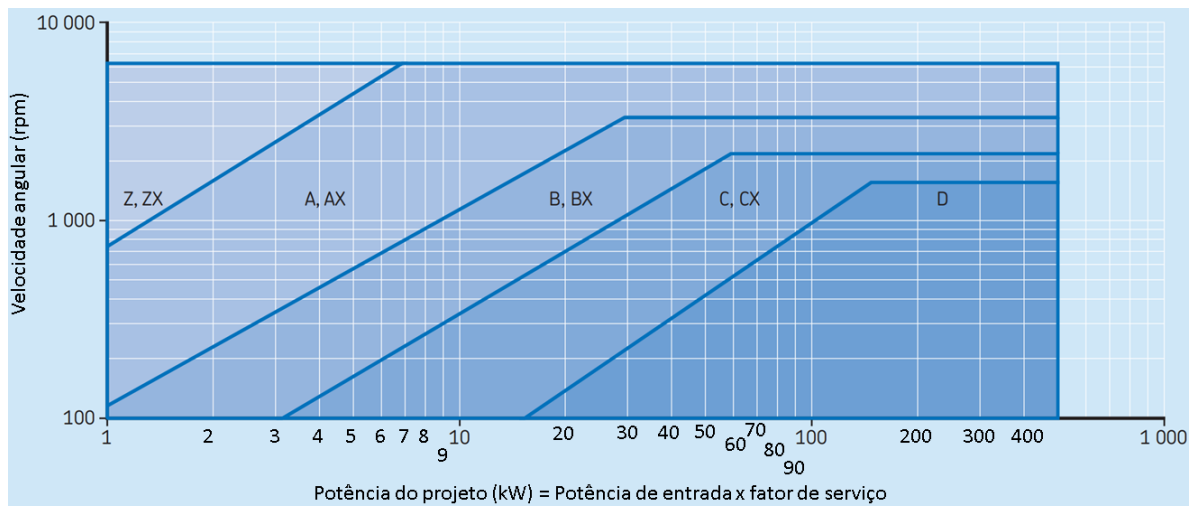


Figura 9: Gráfico para seleção de correia tipo Z, A, B, C e D

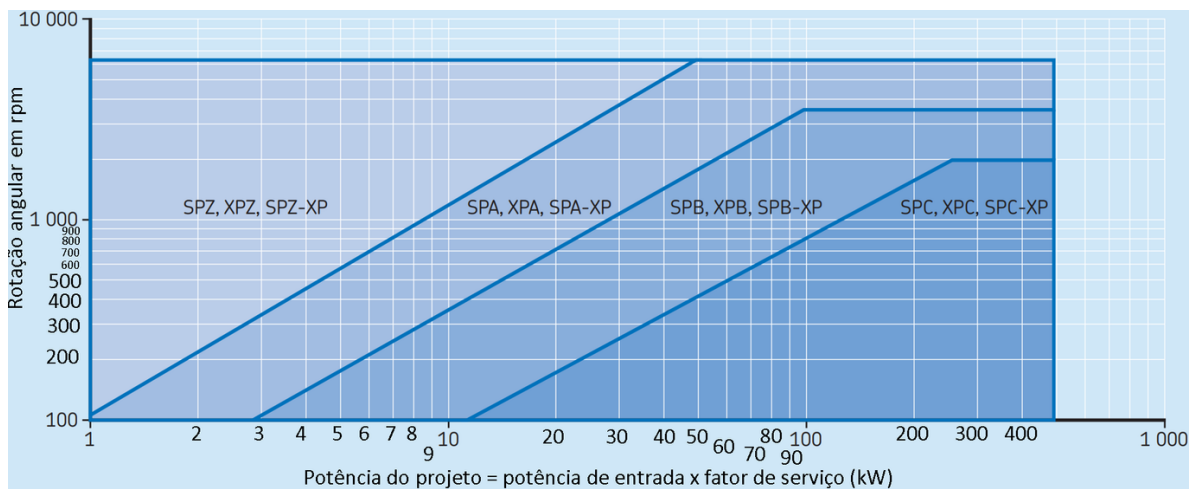


Figura 10: Gráfico para seleção de correia tipo SPZ, SPA, SPB e SPC

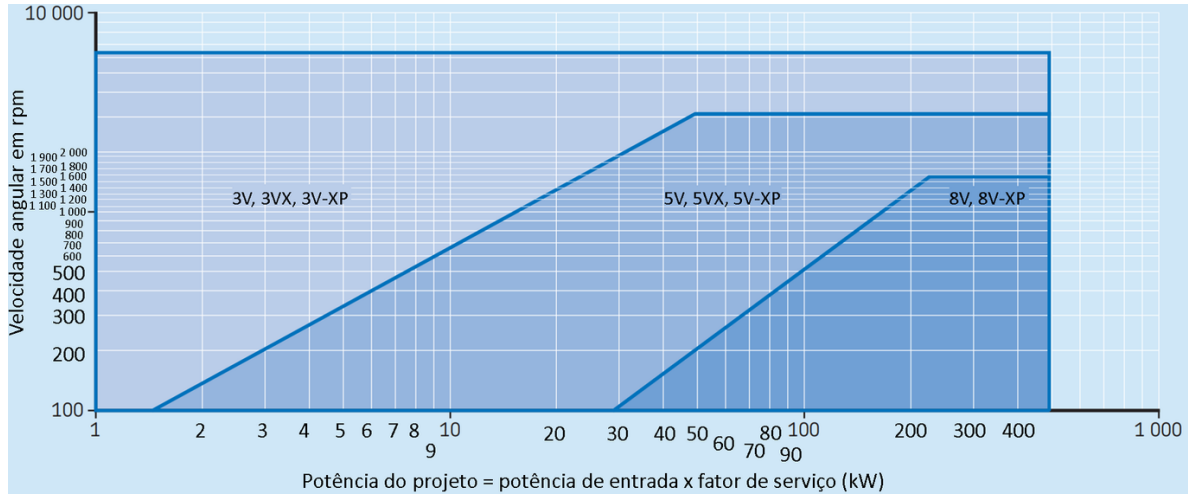


Figura 11: Gráfico para seleção de correia tipo 3V, 5V e 8V

Tendo-se escolhido o tipo de correia em V pode ser determinado o diâmetro da polias, usando as equações 1 e 3. Caso não seja fornecido nenhum dado sobre a velocidade linear, deve ser considerada a recomendação de (Mott, 2013), ou seja, $V = 20$ m/s. Assim, podem ser definidos os diâmetros preliminares das polias, que posteriormente devem ser ajustados segundo disponibilidade de diâmetros de polias padronizadas.

Para encontrar a distância entre centros preliminar das polias, C_p , esta deve ser maior que o diâmetro da maior polia, D , mas não deve passar o valor do produto da soma dos dois diâmetros, D e d , multiplicada por 3, ou seja: $D < C_p < 3(D+d)$ (Mott, 2013).

Esse intervalo da distância de centro preliminar das polias deve ser escolhido buscando conservar o espaço do sistema de transmissão. Em outros casos esse tamanho é uma necessidade de projeto, ou seja, é um dado de entrada, mas não deve estar fora da C_p encontrada.

O comprimento preliminar total da correia, L_p , considerando o diâmetros de passo, pode ser obtido com a Equação 4 (Mott, 2013).

$$L_p = 2C_p + 1,57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C_p} \quad (4)$$

O comprimento preliminar da correia deve ser ajustado conforme disponibilidade do fabricante, que por sua vez segue normas específicas que padronizam esse comprimento L .

A distância entre centros de polias, C , pode ser encontrada com a Equação 5 (Mott, 2013).

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32 \cdot (D - d)^2}}{16} \quad (5)$$

onde $B = 4L - 6,28 \cdot (D + d)$

Os cálculos do sistema de transmissão por correia em V consideram a potência para uma correia. Para saber qual é a potência unitária, P_u , de cada correia devem ser consultados catálogos de fabricantes que mostram esse valor. Normalmente, para encontrar a potência unitária deve ser ingressado o diâmetro de passo da polia menor e cruzar com valores de rotação em *rpm*. Quando a potência unitária está abaixo da potência de projeto, P_d , devem ser consideradas mais de uma correia, por esse motivo, deve ser acrescentado um acréscimo de potência, P_a , à potência unitária, P_u . Para encontrar esse acréscimo normalmente se ingressa o índice de velocidade, i , e é cruzado com a rotação da polia em *rpm*. Dessa forma, tem-se a potência básica P_b que é $P_u + P_a$. A seguir é apresentada uma imagem com esses valores para uma correia tipo SPB e 5V, que é uma adaptação de (SKF, 2012).

Seção SPB/5V		Diâmetro de passo da polia pequena (mm)													Índice de velocidade			
		140	150	160	170	180	190	200	212	224	236	250	280	315	1,00 to 1,05	1,06 to 1,24	1,25 to 1,59	> 1,59
r/min	kW	Potência unitária da correia (P_u)													kW Potência acrescentada (P_a)			
100	0,72	0,81	0,90	0,99	1,08	1,17	1,26	1,37	1,48	1,59	1,72	1,98	2,29	0,01	0,03	0,05	0,05	
200	1,31	1,49	1,66	1,84	2,01	2,19	2,36	2,57	2,77	2,98	3,22	3,73	4,32	0,02	0,07	0,09	0,10	
300	1,86	2,12	2,38	2,63	2,89	3,14	3,39	3,69	3,99	4,29	4,64	5,38	6,24	0,03	0,10	0,14	0,15	
400	2,38	2,72	3,05	3,38	3,72	4,05	4,38	4,77	5,16	5,55	6,00	6,97	8,07	0,03	0,13	0,19	0,20	
500	2,87	3,29	3,70	4,11	4,52	4,92	5,33	5,81	6,29	6,76	7,32	8,49	9,85	0,04	0,17	0,23	0,25	
600	3,35	3,84	4,33	4,81	5,29	5,77	6,24	6,81	7,38	7,94	8,59	9,97	11,55	0,05	0,20	0,28	0,30	
700	3,81	4,37	4,93	5,49	6,04	6,59	7,13	7,78	8,43	9,07	9,82	11,39	13,20	0,06	0,23	0,33	0,35	
720	3,90	4,48	5,05	5,62	6,18	6,75	7,31	7,97	8,64	9,30	10,06	11,67	13,52	0,06	0,24	0,34	0,36	
800	4,25	4,89	5,52	6,14	6,76	7,38	7,99	8,73	9,45	10,17	11,01	12,77	14,78	0,07	0,27	0,38	0,40	
900	4,68	5,38	6,08	6,78	7,47	8,15	8,83	9,64	10,44	11,24	12,16	14,09	16,29	0,08	0,30	0,42	0,45	
960	4,93	5,67	6,41	7,15	7,88	8,60	9,32	10,17	11,02	11,86	12,83	14,86	17,17	0,08	0,32	0,45	0,48	
1000	5,09	5,87	6,63	7,39	8,15	8,90	9,64	10,52	11,40	12,26	13,26	15,36	17,74	0,08	0,33	0,47	0,50	
1100	5,49	6,33	7,17	7,99	8,81	9,62	10,42	11,38	12,32	13,26	14,33	16,58	19,12	0,09	0,37	0,52	0,55	
1200	5,88	6,78	7,68	8,57	9,45	10,32	11,18	12,20	13,21	14,21	15,36	17,75	20,42	0,10	0,40	0,56	0,60	
1300	6,25	7,22	8,18	9,13	10,07	11,00	11,91	13,00	14,07	15,13	16,34	18,85	21,64	0,11	0,43	0,61	0,65	
1400	6,61	7,64	8,66	9,67	10,66	11,65	12,62	13,76	14,89	16,00	17,27	19,90	22,79	0,12	0,47	0,66	0,70	
1440	6,75	7,81	8,85	9,88	10,90	11,90	12,89	14,06	15,21	16,34	17,63	20,30	23,22	0,12	0,48	0,68	0,72	
1500	6,96	8,05	9,13	10,19	11,24	12,27	13,29	14,50	15,68	16,84	18,16	20,88	23,84	0,13	0,50	0,70	0,75	
1600	7,29	8,44	9,58	10,69	11,79	12,87	13,94	15,19	16,42	17,63	18,99	21,79	24,81	0,14	0,53	0,75	0,80	
1700	7,62	8,82	10,00	11,17	12,32	13,45	14,56	15,86	17,13	18,37	19,78	22,63	25,68	0,14	0,57	0,80	0,85	
1800	7,92	9,18	10,42	11,63	12,82	13,99	15,14	16,49	17,80	19,07	20,51	23,41	26,45	0,15	0,60	0,84	0,90	
1900	8,22	9,52	10,81	12,07	13,30	14,51	15,70	17,08	18,42	19,72	21,18	24,10	27,12	0,16	0,63	0,89	0,95	
2000	8,50	9,85	11,18	12,49	13,76	15,00	16,22	17,63	19,00	20,32	21,80	24,72	27,67	0,17	0,67	0,94	1,00	
2100	8,76	10,16	11,54	12,88	14,19	15,47	16,71	18,15	19,54	20,87	22,36	25,26	28,12	0,18	0,70	0,98	1,05	
2200	9,01	10,46	11,87	13,25	14,59	15,90	17,16	18,62	20,03	21,37	22,85	25,71	28,44	0,19	0,73	1,03	1,10	
2300	9,25	10,74	12,19	13,60	14,97	16,29	17,58	19,06	20,47	21,81	23,28	26,07	28,65	0,19	0,77	1,08	1,15	
2400	9,47	10,99	12,48	13,92	15,31	16,66	17,96	19,45	20,86	22,19	23,64	26,34	28,72	0,20	0,80	1,13	1,20	
2500	9,67	11,23	12,75	14,22	15,63	16,99	18,30	19,79	21,20	22,51	23,93	26,51	28,67	0,21	0,83	1,17	1,25	
2600	9,86	11,46	13,00	14,49	15,92	17,29	18,60	20,09	21,48	22,77	24,15	26,58	-	0,22	0,87	1,22	1,30	
2700	10,03	11,66	13,23	14,73	16,18	17,55	18,86	20,34	21,71	22,97	24,29	-	-	0,23	0,90	1,27	1,35	
2800	10,19	11,84	13,43	14,95	16,40	17,78	19,08	20,54	21,88	23,10	24,36	-	-	0,24	0,93	1,31	1,40	
2880	10,30	11,97	13,57	15,10	16,56	17,93	19,23	20,67	21,98	23,16	-	-	-	0,24	0,96	1,35	1,44	
2900	10,33	12,00	13,61	15,14	16,59	17,97	19,26	20,69	22,00	23,16	-	-	-	0,25	0,97	1,36	1,45	
3000	10,45	12,15	13,76	15,30	16,75	18,12	19,39	20,79	22,05	-	-	-	-	0,25	1,00	1,41	1,50	
3100	10,55	12,27	13,89	15,43	16,88	18,23	19,48	20,84	-	-	-	-	-	0,26	1,03	1,45	1,55	
3200	10,64	12,36	14,00	15,53	16,97	18,30	19,52	-	-	-	-	-	-	0,27	1,07	1,50	1,60	
3300	10,71	12,44	14,07	15,60	17,02	18,32	-	-	-	-	-	-	-	0,28	1,10	1,55	1,65	
3400	10,75	12,49	14,12	15,64	17,04	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	1,13	1,59	1,70	
3500	10,78	12,52	14,15	15,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	1,17	1,64	1,75	
3600	10,79	12,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	1,20	1,69	1,80	

Figura 12: Potência unitária e de acréscimo para correias seção SPB e 5V

O ângulo de contato para a polia motriz e movida é conforme Equação 6 e 7, respectivamente (Mott, 2013).

$$\theta_d = 180 - 2 \cdot \text{sen}^{-1} \cdot \frac{D - d}{2C} \quad (6)$$

$$\theta_D = 180 + 2 \cdot \text{sen}^{-1} \cdot \frac{D - d}{2C} \quad (7)$$

Quando há diferença de diâmetros nas polias, a de menor diâmetro sempre terá um ângulo de contato inferior a 180° , tendo menos área de contato o que faz com que seja exigida uma menor potência. Mas, esse ângulo de envolvimento da polia menor, d , deve ser maior que 120° (Mott, 2013).

Normalmente é calculado apenas o ângulo de envolvimento da polia menor, por ser a mais crítica. Com esse valor ingressa-se ao gráfico da Figura 13 para corrigir a potência básica, P_b , com o fator de correção do ângulo de envolvimento, C (Mott, 2013).

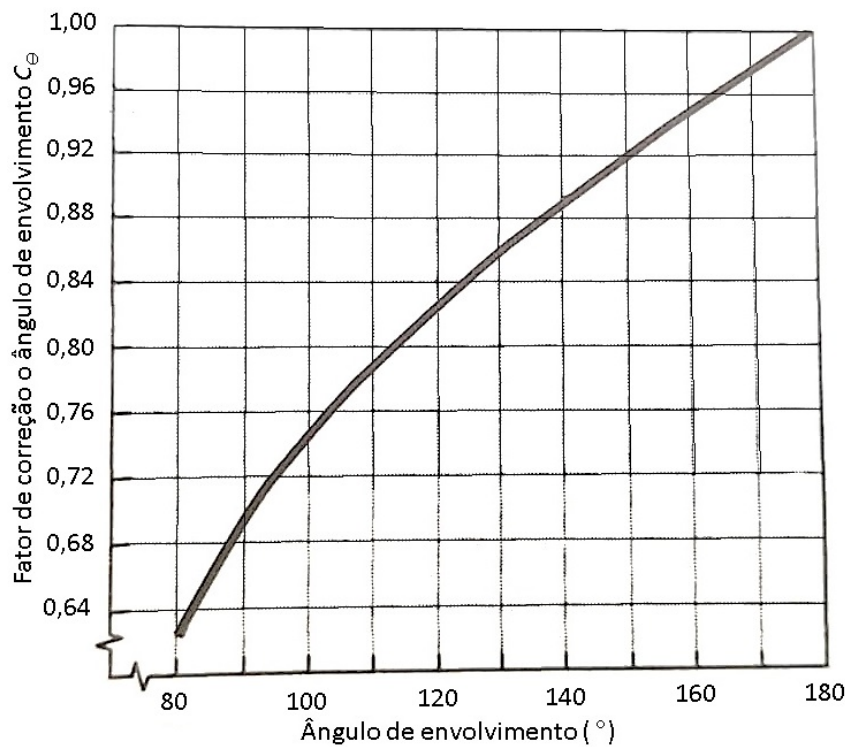


Figura 13: Fator de correção do ângulo de envolvimento

Também, com o comprimento da correia, L , pode ser corrigida a potência básica, P_b , usando a tabela da Figura 14, que é uma adaptação de (SKF, 2012).

Comprimento da correia (L)	SPZ SPZ-XP XPZ 3V 3V-XP 3VX	SPA SPA-XP XPA	SPB SPB-XP XPB 5V 5V-XP 5VX	SPC SPC-XP XPC	8V 8V-XP	Z ZX	A AX	B BX	C CX	D
mm	Fator de correção do comprimento da correia C_L									
400	0,50					0,87	0,68			
475	0,65					0,90	0,74	0,64		
530	0,74					0,93	0,78	0,70		
630	0,82	0,77				0,96	0,81	0,76		
710	0,84	0,79				0,99	0,83	0,78		
900	0,88	0,83	0,76			1,05	0,87	0,82	0,73	
1 000	0,90	0,85	0,78			1,06	0,89	0,84	0,76	
1 120	0,93	0,87	0,80			1,08	0,91	0,86	0,78	
1 250	0,95	0,89	0,82			1,11	0,93	0,88	0,80	
1 400	0,96	0,91	0,84	0,70		1,14	0,96	0,90	0,82	
1 600	1,00	0,93	0,86	0,74		1,17	0,99	0,93	0,84	
1 800	1,01	0,95	0,88	0,77		1,22	1,01	0,95	0,86	
2 000	1,02	0,96	0,90	0,80	0,78	1,25	1,03	0,98	0,88	0,78
2 240	1,05	0,98	0,92	0,83	0,80	1,28	1,06	1,00	0,91	0,80
2 500	1,07	1,00	0,94	0,86	0,80	1,29	1,09	1,03	0,93	0,82
2 800	1,09	1,02	0,96	0,88	0,82	1,29	1,11	1,05	0,95	0,84
3 150	1,11	1,04	0,98	0,90	0,84		1,13	1,07	0,97	0,86
3 550	1,13	1,06	1,00	0,92	0,86		1,15	1,09	0,99	0,88
4 000	1,13	1,08	1,02	0,94	0,89		1,17	1,13	1,02	0,91
4 500	1,13	1,09	1,04	0,96	0,91		1,17	1,15	1,04	0,93
5 000		1,09	1,06	0,98	0,94		1,17	1,18	1,07	0,96
5 600		1,09	1,08	1,00	0,96		1,17	1,20	1,09	0,98
6 300			1,10	1,02	0,99		1,17	1,23	1,12	1,01
7 100			1,12	1,04	1,02			1,23	1,15	1,04
8 000			1,14	1,06	1,04			1,23	1,18	1,06
9 000			1,14	1,08	1,07			1,23	1,21	1,09
10 000			1,14	1,10	1,09			1,23	1,23	1,11
11 200				1,12	1,12				1,23	1,14
12 500				1,14	1,15				1,23	1,17

Figura 14: Fator de correção de comprimento C_L

A distância de vão, S , quando for grande demais pode chicotear e gerar vibração desnecessária ao sistema de transmissão. Essa distância pode ser encontrada com a Equação 8 (Mott, 2013).

$$S = \sqrt{C^2 - \frac{(D - d)^2}{2}} \quad (8)$$

Para acompanhar o procedimento de dimensionamento e seleção de uma correia em V de transmissão, é adaptado um exemplo de (Mott, 2013) para o sistema internacional.

Precisa-se projetar o sistema de transmissão, usando correia em V, de um elevador de canecas que é acionado por um motor elétrico, com partida leve. No eixo do motor elétrico há uma potência de saída de 37 kW e uma rotação de 1 160 rpm, para projetar a polia motriz. A polia movida do rolo (tambor) de transmissão das canecas deve ter uma rotação próxima de 675 rpm. Dito equipamento deve trabalhar 12 h/dia.

Da Tabela 1 encontra-se o fator de serviço da correia 1,3, que se obtém ingressando o tipo de motor, tempo de trabalho e tipo de máquina acionada. Esse fator de serviço é multiplicado à potência de 37 kW, obtendo uma nova potência do projeto de 48,1 kW.

Usando as figuras 9, 10 e 11, e ingressando a potência do projeto (48,1 kW) mais a rotação do motor (1160 rpm), pode ser escolhida a seção da correia em V adequada para essas condições, podendo ser: C, SPB ou 5V. Neste exemplo, será usada a correia em V seção 5V.

Com a Equação 2 pode ser encontrado o torque que o sistema apresenta. Tendo as rotações do motor e a rotação desejada para o rolo tambor do elevador, usando a Equação 3, pode ser determinado o índice de velocidade inicial, que é de 1,72.

Normalmente não há uma exigência de velocidade linear que o sistema deve atender, sendo assim, de acordo com a recomendação de (Mott, 2013), usa-se a velocidade linear nominal para uma correia em V de 20 m/s. Assim, usando a Equação 1 pode ser encontrado o diâmetro preliminar da polia motriz, que é 329 mm. E, tendo o índice de velocidade e o diâmetro preliminar da polia motriz, com a Equação 3 pode ser encontrado o diâmetro preliminar da polia movida que é de 566 mm. Esses valores de diâmetros preliminares das polias podem ser ajustados conforme disponibilidade de polias comerciais, as quais seguem normas específicas. Neste exemplo adotam-se as medidas padrão de polias para correia 5V fornecidas pelo software CAD (Solid Edge, 2020), para polia motriz 315 mm e para polia movida 530 mm. Essa escolha de novos diâmetros de polias é se certificando que não fique fora do índice de velocidade já encontrado. Com esses novos diâmetros e usando as equações 1 e 3 atualizamos a velocidade linear, o índice de velocidade, e a rotação da polia movida, sendo agora de 19,1 m/s e 1,7 e 689,4 rpm, respectivamente.

Segundo (Mott, 2013), a estimativa inicial para a distância preliminar entre centros das polias, C_p , deve ser maior de 530 mm e menor de 2 535 mm. Para este exemplo, adotamos uma distância preliminar entre centros das polias de 650 mm. Com esse valor preliminar será encontrado o comprimento preliminar da correia, L_p , usando a Equação 4, obtendo-se um valor de 2 644 mm. Consultando o catálogo do fabricante (GATES, 2015) a correia mais próxima ao nosso comprimento encontrado é uma correia 5V1060 que tem um comprimento efetivo de 2

692 mm. Com esse novo comprimento é ajustada a distância entre centros de polias, para tal usa-se a Equação 5 e dessa forma obtém-se uma nova distância entre centros real de 674 mm.

Como foi selecionada uma correia em V seção 5V, agora deve ser determinada a quantidade de correias a ser usada. Para tal, com auxílio da Figura 12 ingressa-se o diâmetro da polia motriz (315 mm) e sua rotação (1 160 rpm), encontrando que uma correia 5V tem uma potência unitária, P_u , de aproximadamente 19,9 kW, muito abaixo da potência do projeto, P_d , que é de 48,1 kW. Dessa forma, é necessário usar mais de uma correia 5V, e por esse motivo se acrescenta a capacidade de potência de uma correia 5V usando também a Figura 12, onde é ingressado o índice de velocidade (1,7) e a rotação (1 160 rpm), obtendo-se um acréscimo de potência de 0,58 kW à potência unitária de 19,9 kW. Assim, quando usa-se mais de uma correia 5V deve ser considerado que cada uma suporta uma potência básica, P_b , de 20,48 kW.

A seguir é encontrado o ângulo de envolvimento da polia mais crítica, ou seja, a polia motriz por ser a de menor diâmetro, θ_d , lembrando que deve ser maior de 120° (Mott, 2013). Assim, usando-se a Equação 6, obtém-se o valor de 162° . Com esse valor será corrigida a potência básica, P_b , e para tal é usado o gráfico da Figura 13 para encontrar o fator de correção do ângulo de envolvimento, C_θ , que é aproximadamente 0,95.

A potência básica, P_b , ainda deve ser corrigida usando o comprimento real da correia, L , e para encontrar um fator de correção de comprimento, C_L , usa-se a Figura 14, ingressando o tipo de correia e o comprimento real, dando um valor de aproximadamente 0,95.

Finalmente, a potência real, P_r , corrigida é a multiplicação da potência básica, P_b , pelos fatores de correção, obtendo um valor de 20,48 kW. Assim, a potência de projeto, P_d , é dividida por esse valor para saber a quantidade de correias necessárias. O resultado é 2,5 correias, ou seja, devem ser usadas 3 correias e a especificação é 3/5V1060. Essas 3 correias juntas apresentam uma largura de 48 mm.

Esse mesmo exercício foi analisado considerando uma correia em V seção C e o resultado apontou que deveriam ser usadas correias com a seguinte especificação 3/C104. Caso usada a correia C as principais mudanças são: diâmetro da polia motriz 315 mm; diâmetro da polia movida 560 mm; distância entre centros 659 mm; rotação da polia movida 652,5 rpm; largura que ocupam essas 3 correias 66 mm.

3.1 Dimensionamento de correias sincronizadas

O dimensionamento de correias sincronizadas segue um procedimento similar ao já usado para correias em V. As principais mudanças estão no fator de serviço e gráficos de seleção de tipo de correia. Essas informações iniciais de um projeto são apresentadas a seguir usando o catálogo

de (SKF, 2012).

Na Tabela 2, em comparação com a Tabela 1, percebe-se que os valores são superiores, ou seja, para uma mesma potência de entrada a potência de projeto será maior nas correias sincronizadas do que nas correias em V.

A seguir na Figura 15, extraída de (SKF, 2012), é apresentado o tipo de correia que pode ser usado, sabendo-se da potência de projeto, lembrando que esse tipo de correias sincronizadas têm dentes trapezoidais.

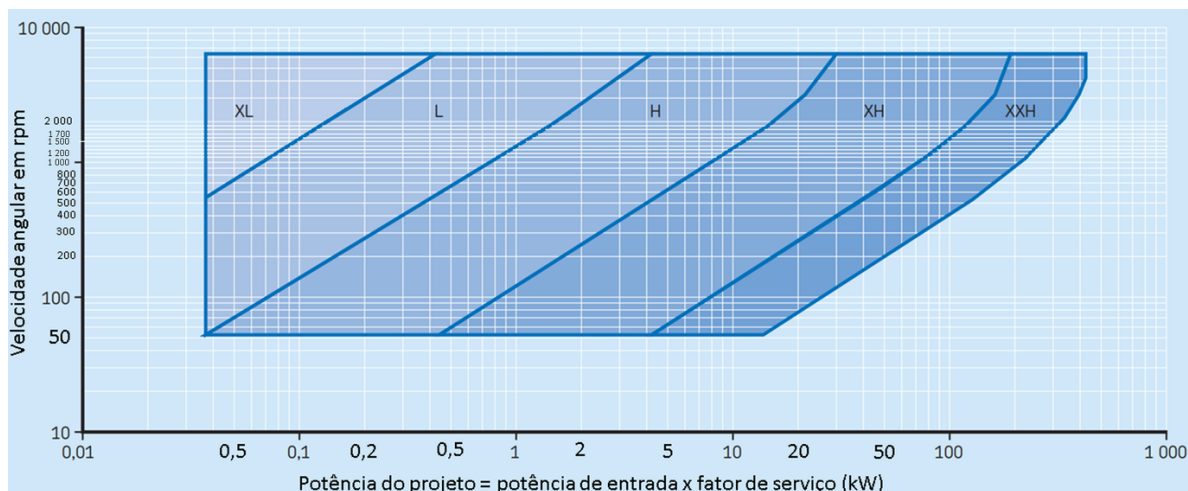


Figura 15: Gráfico para seleção de correia tipo XL, L, H, XH e XXH

Na Figura 16, extraída de (SKF, 2012), são apresentadas as possibilidades de correias sincronizadas, lembrando que os dentes dessas correias são arredondados.

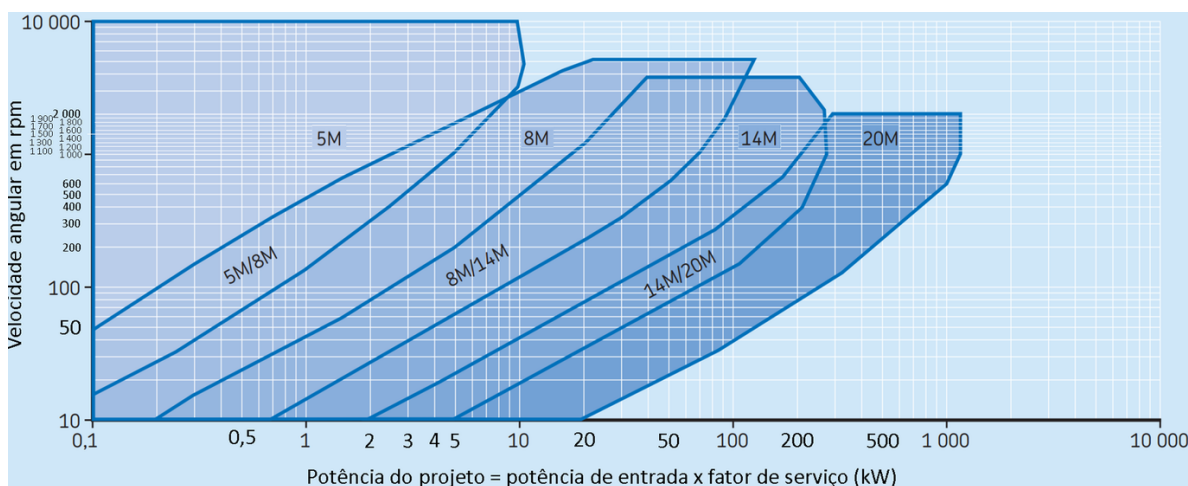


Figura 16: Gráfico para seleção de correia tipo 5M, 8M, 14M e 20M

Tabela 2: Fator de serviço entre tipo de acionamento e máquina acionada para correias sincronizadoras

	Motor	elétrico	partida	Motor	elétrico	partida
	Motor	multi	leve cilindros	Motor	≤ a 4	pesada cilindros
Carga segundo tipo de máquina acionada	<10 h por dia	10 - 16 h por dia	>16 h por dia	<10 h por dia	10 - 16 h por dia	>16 h por dia
Uniforme: Transportadores de correias leves, bombas centrífugas, compressor, ventilador e soprador abaixo de 7,5 kW	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9
Choque leve: Agitadores, bomba rotativa, gerador, máquinas ferramentas, misturadores, ventilador e soprador acima de 7,5 kW, transportador de cascalho, peneira rotativa	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0
Choque médio: elevador de canecas, máquina de tijolo, bomba de pistão, máquina têxtil, moinho martelo, pulverizador, transportadores pesados, prensa, guilhotina, máquina de borracha, peneira vibratório	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
Choque pesado: Triturador, moinho de bolas, guindastes, extrusores	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5

Para maior entendimento do procedimento para a seleção de uma correia sincronizadora será calculado o mesmo exercício anteriormente apresentado.

Da Tabela 2 agora o fator de serviço é 1,8, agora a potência de projeto é 66,6 kW e usando os gráficos das figuras 15 e 16 verifica-se que pode ser escolhida uma correia XH ou 14M. Também, sabendo as rotações da polia motriz e a desejada para a polia movida, pode ser encontrado o índice de velocidade usando a Equação 3, sendo de 1,72. E, com a Equação 1, agora considerando que uma velocidade linear nominal é 10 m/s, pode ser encontrado o diâmetro preliminar da polia motriz, sendo este de 165 mm. Na sequência, com a Equação 3 pode ser encontrado o diâmetro da polia movida, sendo este de 283 mm.

Primeiro foi feito o cálculo usando uma correia XH, mas a mesma apresentou limitações nos diâmetros de polias disponíveis, segundo catálogo de fabricante consultado (SKF, 2012). Sendo forçado a escolher um diâmetro para a polia motriz de 169,79 mm e para a polia movida um diâmetro de 297,13 mm, isto por serem os mais próximos aos diâmetros preliminares calculados. Porém, com esses valores no final dos cálculos seria necessária uma correia muito larga que foge dos padrões de uma correia tipo XH, segundo disponibilidade do fabricante consultado. Então, na continuação selecionou-se uma correia XXH, mas a mesma oferecia diâmetros de polias grandes demais, fora do diâmetro preliminar de polia motriz calculado (165 mm e 283 mm). Esse tipo de polias XXH começava com polias de diâmetros 485,1 mm, segundo catálogo do fabricante consultado. Nesse sentido, decide-se abortar o uso de correias com dentes trapezoidais e partiu-se para realizar os cálculos para correia 14M. Outro fator para essa escolha é que a norma ISO retirou a norma específica de correias trapezoidais.

Retomando o cálculo agora considerando o uso de uma correia com dentes arredondados 14M e usando o catálogo (SKF, 2012), na Figura 17 escolhe-se os diâmetros padronizados para a polia motriz e motora, próximos aos previamente calculados (165 mm e 283 mm). Para tal, ingressa-se com o índice de velocidade preliminar, (1,72), como referência, e escolhe-se um diâmetro para a polia motriz de 178,3 mm com número de dentes, Z_s , igual a 40, e para a polia movida um diâmetro de 303 mm com número de dentes, Z_l , igual a 68.

Índice de velocidade	Polia motriz		Polia movida		Comprimento, L, da correia										
	Número de dentes	Diâmetro de passo	Número de dentes	Diâmetro de passo	966	1190	1400	1610	1778	1890	2100	2310	2450	2590	2 800
	—	mm	—	mm	mm										
1,37	38	169,34	52	231,73	—	278,2	383,7	489,0	573,2	629,2	734,3	839,4	909,5	979,5	1084,6
1,38	52	231,73	72	320,86	—	—	—	368,3	452,8	509,0	614,4	719,6	789,7	859,8	965,0
1,38	32	142,60	44	196,08	215,3	327,9	433,2	538,3	622,4	678,5	783,5	888,6	958,6	1028,7	1133,7
1,38	29	129,23	40	178,25	240,2	352,6	457,8	563,0	647,0	703,1	808,1	913,2	983,2	1053,2	1158,2
1,40	80	356,51	112	499,11	—	—	—	—	—	—	—	477,7	548,4	618,9	724,5
1,40	40	178,25	56	249,55	—	256,5	362,2	467,6	551,8	608,0	713,1	818,2	888,3	958,3	1063,4
1,41	64	285,21	90	401,07	—	—	—	—	—	401,8	507,7	613,3	683,5	753,8	859,0
1,41	34	151,52	48	213,90	—	306,4	411,8	517,1	601,2	657,3	762,4	867,4	937,5	1007,5	1112,6
1,42	48	213,90	68	303,03	—	—	290,6	396,5	480,9	537,2	642,5	747,7	817,8	887,9	993,0
1,43	56	249,55	80	356,51	—	—	—	324,6	409,5	465,9	571,5	676,9	747,1	817,3	922,4
1,43	28	124,78	40	178,25	243,5	356,0	461,2	566,4	650,5	706,5	811,6	916,6	986,6	1056,7	1161,7
1,44	36	160,43	52	231,73	—	284,8	390,4	495,7	579,9	636,0	741,1	846,3	916,3	986,4	1091,4
1,45	44	196,08	64	285,21	—	—	318,9	424,7	509,0	565,2	670,5	775,7	845,8	915,9	1021,0
1,47	38	169,34	56	249,55	—	262,9	368,8	474,3	558,6	614,7	719,9	825,0	895,1	965,2	1070,3
1,47	30	133,69	44	196,08	221,8	334,5	439,9	545,1	629,2	685,3	790,4	895,5	965,5	1035,5	1140,6
1,50	60	267,38	90	401,07	—	—	—	—	357,7	414,6	520,7	626,4	698,6	767,1	872,4
1,50	48	213,90	72	320,86	—	—	—	381,2	465,9	522,3	627,7	733,0	803,2	873,4	978,5
1,50	40	178,25	60	267,38	—	240,9	347,1	452,8	537,2	593,3	698,6	803,8	873,9	943,9	1049,1
1,50	32	142,60	48	213,90	199,8	313,0	418,5	523,8	608,0	664,0	769,2	874,3	944,3	1014,4	1119,4
1,52	29	129,23	44	196,08	225,0	337,8	443,2	548,5	632,6	688,7	793,8	898,9	968,9	1039,0	1144,0
1,53	34	151,52	52	231,73	—	291,2	397,0	502,4	586,6	642,7	747,9	853,1	923,1	993,2	1098,3
1,54	52	231,73	80	356,51	—	—	—	337,2	422,4	478,9	584,7	690,2	760,4	830,7	935,9
1,55	44	196,08	68	303,03	—	—	303,3	409,5	494,1	550,4	655,8	761,1	831,3	901,4	1006,6
1,56	72	320,86	112	499,11	—	—	—	—	—	—	—	503,1	574,1	644,8	750,7
1,56	36	160,43	56	249,55	—	269,3	375,4	480,9	565,2	621,4	726,6	831,8	901,9	972,0	1077,1
1,57	28	124,78	44	196,08	228,2	341,1	446,6	551,8	636,0	692,1	797,2	902,3	972,3	1042,4	1147,4
1,58	38	169,34	60	267,38	—	247,1	353,6	459,4	543,8	600,0	705,3	810,5	880,6	950,7	1055,9
1,60	40	178,25	64	285,21	—	—	331,7	437,7	522,3	578,5	683,9	789,2	859,3	929,5	1034,6
1,60	30	133,69	48	213,90	206,1	319,5	425,1	530,5	614,7	670,8	776,0	881,1	951,2	1021,2	1126,3
1,61	56	249,55	90	401,07	—	—	—	—	370,2	427,3	533,6	639,5	710,0	780,3	885,8
1,63	32	142,60	52	231,73	—	297,7	403,5	509,0	593,3	649,5	754,7	859,8	929,9	1000,0	1105,1
1,64	44	196,08	72	320,86	—	—	287,2	394,1	478,9	535,4	641,0	746,4	816,6	886,8	992,0
1,65	68	303,03	112	499,11	—	—	—	—	—	—	—	515,7	586,8	657,7	763,7
1,65	34	151,52	56	249,55	—	275,6	381,8	487,5	571,9	628,1	733,4	838,6	908,7	978,8	1083,9
1,66	29	129,23	48	213,90	209,2	322,7	428,4	533,8	618,1	674,2	779,4	884,5	954,6	1024,6	1129,7
1,67	48	213,90	80	356,51	—	—	—	349,7	435,1	491,8	597,7	703,4	773,7	844,0	949,3
1,67	36	160,43	60	267,38	—	253,3	360,0	465,9	550,4	606,6	712,0	817,3	887,4	957,5	1062,7
1,68	38	169,34	64	285,21	—	—	338,0	444,2	528,8	585,1	690,6	795,9	866,1	936,2	1041,4
1,70	40	178,25	68	303,03	—	—	315,8	422,4	507,2	563,5	669,1	774,5	844,7	914,9	1020,1
1,71	28	124,78	48	213,90	212,3	325,9	431,7	537,2	621,4	677,5	782,7	887,9	958,0	1028,0	1133,1
1,73	52	231,73	90	401,07	—	—	—	—	382,6	439,8	546,4	652,5	723,0	793,5	899,0
1,73	30	133,69	52	231,73	—	304,0	410,1	515,7	600,0	656,2	761,4	866,6	936,7	1006,8	1111,9
1,75	64	285,21	112	499,11	—	—	—	—	—	—	420,3	528,1	599,4	670,5	776,6
1,75	32	142,60	56	249,55	—	281,9	388,3	494,1	578,5	634,7	740,1	845,3	915,4	985,5	1090,7
1,76	34	151,52	60	267,38	—	259,5	366,4	472,4	557,0	613,3	718,7	824,0	894,1	964,3	1069,4
1,78	36	160,43	64	285,21	—	236,7	344,3	450,7	535,4	591,7	697,2	802,6	872,8	942,9	1048,1
1,79	38	169,34	68	303,03	—	—	322,0	428,8	513,6	570,1	675,7	781,1	851,4	921,6	1026,8
1,79	29	129,23	52	231,73	—	307,2	413,3	519,0	603,3	659,5	764,8	870,0	940,1	1010,2	1115,3
1,80	80	356,51	144	641,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	598,9
1,80	40	178,25	72	320,86	—	—	299,5	406,7	491,8	548,4	654,1	759,7	829,9	900,2	1005,5
1,82	44	196,08	80	356,51	—	—	—	362,1	447,8	504,6	610,7	716,5	786,9	857,2	962,7
1,86	28	124,78	52	231,73	195,6	310,4	416,6	522,3	606,6	662,8	768,1	873,4	943,5	1013,6	1118,7
1,87	60	267,38	112	499,11	—	—	—	—	—	—	432,4	540,5	612,0	683,2	789,5
1,87	30	133,69	56	249,55	—	288,2	394,7	500,6	585,1	641,4	746,8	852,0	922,2	992,3	1097,5
1,88	48	213,90	90	401,07	—	—	—	—	394,9	452,3	559,2	665,4	736,0	806,6	912,2
1,88	34	151,52	64	285,21	—	242,7	350,6	457,1	541,9	598,3	703,8	809,2	879,5	949,6	1054,9
1,88	32	142,60	60	267,38	—	265,6	372,8	478,9	563,5	619,9	725,3	830,7	900,8	971,0	1076,2
1,89	38	169,34	72	320,86	—	—	305,6	413,0	498,2	554,8	660,7	766,3	836,6	906,8	1012,2
1,89	36	160,43	68	303,03	—	—	328,2	435,1	520,1	576,6	682,3	787,8	858,0	928,3	1033,5
1,93	29	129,23	56	249,55	—	291,3	397,9	503,9	588,4	644,7	750,1	855,4	925,5	995,7	1100,9
2,00	72	320,86	144	641,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	513,7	623,2
2,00	56	249,55	112	499,11	—	—	—	—	—	—	444,4	552,9	624,5	695,8	802,3
2,00	40	178,25	80	356,51	—	—	374,3	460,3	517,3	—	623,6	729,5	800,0	870,4	975,9
2,00	36	160,43	72	320,86	—	—	311,6	419,3	504,6	561,3	667,2	772,8	843,2	913,5	1018,8
2,00	34	151,52	68	303,03	—	—	334,4	441,5	526,5	583,1	688,8	794,4	864,7	934,9	1040,2
2,00	32	142,60	64	285,21	—	248,7	356,9	463,5	548,4	604,8	710,4	815,9	886,1	956,3	1061,6
2,00	30	133,69	60	267,38	—	271,7	379,1	485,4	570,1	626,4	731,9	837,3	907,5	977,7	1082,9
2,00	28	124,78	56	249,55	—	294,4	401,1	507,2	591,7	648,0	757				

essa mesma equação encontra-se a rotação real da polia movida, sendo esta de 682,3. Para este exercício considera-se que essa nova rotação de saída não prejudica o projeto do sistema de transmissão do elevador de canecas.

Na continuação é calculado o comprimento da correia, para tal, primeiramente determina-se a distância entre centros, seguindo a recomendação de (Mott, 2013), ou seja, essa distância deve ser maior de 303 mm e menor de 1 440 mm. Para ser essa distância parecida ao sistema que foi calculado para correia em V, considera-se 650 mm.

Com a Equação 4 encontra-se o comprimento preliminar da correia, sendo este de 2 062 mm. Consultando um outro fornecedor de correias, (GATES, 2015), o comprimento mais próximo disponível para esse tipo de correia é de 2 100 mm, referência 2100-14M. Com esse comprimento real, usando a Equação 5, encontra-se a distância entre centros, sendo esta de 669 mm.

Na sequência, com a Equação 6 encontra-se o ângulo de envolvimento que é de 169° , e usando o gráfico da Figura 13 encontra-se um fator de correção de 0,98.

Por outro lado, tendo o comprimento real da correia, com a Figura 18 encontra-se o fator de comprimento de 0,91.

Comprimento da correia mm	Fator de correção C_L			XL L H XH
	5M	8M	14M	
425	0,80	—	—	1,00
535	0,90	—	—	1,00
600	1,00	—	—	1,00
800	1,10	—	—	1,00
890	1,20	—	—	1,00
1 050	1,30	—	—	1,00
1 190	—	0,80	—	1,00
1 200	—	0,90	—	1,00
1 420	—	1,00	—	1,00
1 610	—	1,10	—	1,00
1 760	—	1,20	—	1,00
1 890	—	—	—	1,00
2 000	—	—	0,90	1,00
2 450	—	—	0,95	1,00
2 500	—	—	1,00	1,00
3 150	—	—	1,05	1,00
3 400	—	—	1,10	1,00

Figura 18: Fator de correção para comprimento de correia síncrona

A seguir usando o gráfico da Figura 19, que é uma adaptação de (SKF, 2012), encontra-se a potência básica da correia 2100-14M. Para tal, deve ser ingressado o diâmetro da polia motriz, 178,25 mm, e sua rotação de 1160 rpm, encontrando-se a potência básica igual a 26,46 kW,

número de dentes	28	29	30	32	34	36	38	40	42	44	46
Diâmetro de passo	124,77	129,23	133,69	142,60	151,51	160,42	169,34	178,25	187,16	196,07	204,99
r/min	kW										
Potência básica – considerando a polia de menor diâmetro de passo											
100	2,73	2,86	2,99	3,24	3,49	3,74	3,99	4,24	4,48	4,73	4,97
200	4,62	4,86	5,10	5,57	6,03	6,49	6,94	7,39	7,84	8,28	8,72
300	6,20	6,53	6,86	7,51	8,16	8,80	9,43	10,05	10,67	11,27	11,87
400	7,60	8,01	8,43	9,25	10,06	10,86	11,64	12,42	13,18	13,94	14,68
500	8,89	9,38	9,88	10,85	11,81	12,75	13,67	14,59	15,49	16,38	17,25
600	10,11	10,68	11,24	12,35	13,45	14,52	15,58	16,62	17,64	18,65	19,65
700	11,27	11,91	12,54	13,78	15,00	16,20	17,38	18,54	19,68	20,80	21,90
720	11,50	12,15	12,80	14,06	15,31	16,53	17,73	18,91	20,07	21,21	22,34
800	12,41	13,11	13,80	15,16	16,50	17,82	19,11	20,37	21,62	22,84	24,05
900	13,51	14,27	15,02	16,50	17,95	19,37	20,77	22,14	23,48	24,80	26,10
960	14,16	14,96	15,74	17,29	18,80	20,28	21,74	23,16	24,56	25,94	27,29
1 000	14,59	15,41	16,22	17,81	19,36	20,88	22,38	23,84	25,28	26,69	28,07
1 100	15,66	16,53	17,39	19,08	20,73	22,35	23,94	25,49	27,01	28,51	29,97
1 200	16,71	17,63	18,54	20,33	22,08	23,79	25,46	27,10	28,70	30,27	31,82
1 300	17,74	18,71	19,67	21,55	23,39	25,19	26,94	28,66	30,34	31,98	33,60
1 400	18,76	19,78	20,78	22,75	24,68	26,55	28,38	30,18	31,93	33,65	35,33
1 440	19,17	20,20	21,22	23,23	25,18	27,09	28,95	30,77	32,55	34,30	36,00
1 500	19,77	20,83	21,88	23,93	25,93	27,89	29,79	31,66	33,48	35,26	37,00
1 600	20,75	21,86	22,95	25,08	27,16	29,19	31,17	33,10	34,98	36,83	38,63
1 700	21,72	22,87	24,00	26,21	28,36	30,46	32,50	34,50	36,44	38,34	40,20
1 800	22,67	23,85	25,02	27,31	29,53	31,69	33,80	35,85	37,86	39,81	41,72
1 900	23,59	24,82	26,02	28,37	30,66	32,89	35,06	37,17	39,23	41,23	43,19
2 000	24,49	25,75	26,99	29,41	31,76	34,05	36,27	38,44	40,55	42,60	44,60
2 100	25,36	26,65	27,92	30,41	32,82	35,17	37,44	39,66	41,82	43,92	45,96
2 200	26,19	27,52	28,82	31,37	33,84	36,24	38,57	40,83	43,03	45,18	47,26
2 300	26,99	28,35	29,68	32,29	34,81	37,26	39,64	41,95	44,20	46,38	48,50
2 400	27,74	29,13	30,50	33,16	35,74	38,24	40,66	43,02	45,30	47,52	49,68
2 500	28,46	29,87	31,27	33,98	36,61	39,16	41,63	44,02	46,35	48,60	50,79
2 600	29,12	30,57	31,99	34,76	37,43	40,02	42,53	44,97	47,33	49,61	51,84
2 700	29,73	31,20	32,65	35,47	38,19	40,83	43,38	45,84	48,24	50,56	52,81
2 800	30,29	31,79	33,26	36,12	38,89	41,56	44,15	46,65	49,08	51,43	53,70
2 880	30,69	32,21	33,70	36,60	39,40	42,11	44,72	47,25	49,70	52,07	54,36
2 900	30,78	32,31	33,80	36,71	39,52	42,23	44,86	47,39	49,84	52,22	54,52
3 000	31,21	32,76	34,28	37,23	40,08	42,83	45,48	48,05	50,53	52,93	55,25
3 100	31,57	33,14	34,68	37,68	40,57	43,35	46,03	48,63	51,13	53,55	55,90
3 200	31,86	33,45	35,01	38,05	40,97	43,79	46,50	49,12	51,65	54,09	56,45
3 300	32,07	33,68	35,26	38,34	41,29	44,14	46,88	49,53	52,08	54,54	56,91
3 400	32,19	33,83	35,43	38,54	41,53	44,40	47,17	49,84	52,41	54,89	57,28
3 500	32,23	33,89	35,51	38,65	41,67	44,57	47,37	50,05	52,64	55,14	57,54
3 600	–	–	–	38,67	41,72	44,64	47,46	50,17	52,77	55,28	57,69
3 700	–	–	–	–	–	–	–	50,17	52,79	55,31	57,74
Largura da polia [mm]											
40	55	85	115	170							
Multiplicador de largura											
1	1,44	2,32	3,21	4,82							

Figura 19: Potência básica de correias 14M

Agora a potência básica é multiplicada pelos fatores de correção de envolvimento e comprimento, obtendo-se uma potência real de 23,59 kW. lembrando que a potência de projeto é de 66,6 kW, ou seja, a potência real está abaixo do projeto. Então, dividindo a potência de projeto entre a potência real e verifica-se que o multiplicador de largura é 2,8. Assim, verificando a Figura 19 observa-se que o multiplicador de largura mais próximo de 2,8 é 3,21. Então, escolhe-se uma largura de 115 mm. Finalmente, especifica-se que a correia a ser selecionada é uma correia 2100-14M-115.

4 Conclusões

No estudo de caso apresentado, entre as correias em V de seção 5V e C a maior diferença que se percebe é na largura que ocupam, a de seção C é 27,3 % maior que a de seção 5V. Quando feito o cálculo para selecionar uma correia sincronizada, a correia tipo XH não pode ser es-

colhida devido à indisponibilidade de diâmetros de polias que atendam aos cálculos de seleção apresentados neste trabalho. Sendo assim, foi selecionada uma correia sincronizada tipo 14M e quando comparada com de seção 5V, a correia 14M é 58,3 % mais larga, em contrapartida a correia 14M comparada com a correia 5V teria uma polia motriz com um diâmetro 43,4 % menor e uma polia movida com o diâmetro 42,8 % menor, já na distância entre centros não apresenta uma diferença expressiva. Na Figura 20, mostram-se os principais valores obtidos para cada correia que poderia ser selecionada para o sistema de transmissão do estudo de caso.

Descrição	Tipo de correias		
	Seção 5V	Seção C	14M
Diâmetro de passo polia motriz [mm]	315	315	178,3
Diâmetro de passo polia movida [mm]	530	560	303
Distância entre centros [mm]	674	659	669
Largura das correias [mm]	48	66	115

Figura 20: Principais valores entre correias 5V, C e 14M

A escolha do tipo de correia dependerá do custo de aquisição, visto que pode ser um fator importante em função do orçamento que se tenha para a fabricação do equipamento. Também a escolha pode depender do custo que gerará cada correia, pois segundo a teoria as correias sincronizadas precisam de menos manutenção. Finalmente, a escolha pode depender do espaço disponível que se tenha o que levará a decidir por aquela que ocupa menos espaço.

É importante destacar que o presente trabalho apresentou o cálculo de seleção de correias de transmissão considerando as mais clássicas e as comumente usadas na indústria, mas cada fabricante de correias apresenta uma grande variedade de outros tipos de correias que devem ser consultadas nos seus catálogos.

Referências

- Learning, C. (Ed.). (2015). *Introdução à Engenharia Mecânica* (2nd ed.). Cengage Learning.
- Pearson (Ed.). (2013). *Machine elements in mechanical design* (5th ed.). Pearson.
- Gates Industrial Belt (p. 61). (2015). (p.). Gates Corporations. https://www.gatesbrasil.com.br/upload/catalogos/catalogo_correias_industriais_2015_web.pdf
- Belt drives — Classical and narrow V-belts — Lengths in datum system. (1992). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/9958.html>

Belt drives — V-ribbed belts, joined V-belts and V-belts including wide section belts and hexagonal belts — Electrical conductivity of antistatic belts: Characteristics and methods of test. (2014). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/55527.html>

Belt drives — Classical and narrow V-belts — Grooved pulleys (system based on datum width). (1995). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/25817.html>

Belt drives — Grooved pulleys for joined narrow V-belts — Groove sections 9N/J, 15N/J and 25N/J. (2001). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/34404.html>

Endless narrow V-belts for mechanical engineering purposes; dimensions. (1988). *Deutsches Institut Für Normung*. <https://www.din.de/en/getting-involved/standards-committees/net/standards/wdc-beuth:din21:1373920>

Solid Edge for Educators. (2020). *PLM Siemens*. <https://solidedge.siemens.com/en/solutions/users/students/>

Belt drives — Pulleys and V-ribbed belts for industrial applications — PH, PJ, PK, PL and PM profiles: dimensions. (1998). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/25805.html>

Synchronous belt drives — Belts with pitch codes MXL, XXL, XL, L, H, XH and XXH — Metric and inch dimensions. (2012). *International Journal of Mechanical Sciences*. <https://www.iso.org/standard/56001.html>

Synchronous belt drives — Pulleys. (2012). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/56003.html>

Synchronous belt drives — Metric pitch, curvilinear profile systems G, H, R and S, belts and pulleys. (2014). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/60482.html>

TECHNICAL MANUAL RUBBER TIMING BELT DRIVES. (2020). *Arntz OptiBelt Group*. <https://www.optibelt.com/fileadmin/pdf/produkte/zahnriemen-gummi/Optibelt-TM-Rubber-Timing-Belt-Drives.pdf>

Belt drives — Electrical conductivity of antistatic endless synchronous belts — Characteristics and test method. (2015). *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/61639.html>

McGraw-Hill (Ed.). (2014). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.

SKF POWER TRANSMISSION – belts (No.1; Number 1, p. 169). (2012). (No.; Number, p.). SKF group. <https://www.skfptp.com/Publications/DownloadFile?document=Downloads%2FCatalogues%2FSKF%20Power%20transmission%20belts.pdf>

SKF Power transmission belts (pp. p. 169). (2012). (pp.). SKF Group. <https://www.skfptp.com/Publications/DownloadFile?document=Downloads%2FCatalogues%2FSKF%20Power%20transmission%20belts.pdf>

SKF SOLUTIONS FACTORY – IN ACTION. (2018). *Stankoinstrument, 1*, 98–99. <https://doi.org/10.22184/24999407.2018.10.01.98.99>

SKF transmission belts.

SKF Power transmission belts (pp. p. 169). (2012). (pp.). SKF Group. <https://www.skfptp.com/Publications/DownloadFile?document=Downloads%2FCatalogues%2FSKF%20Power%20transmission%20belts.pdf>

ISO 19347, I. S. O. (2015). Synchronous belt drives — Imperial pitch trapezoidal profile system — Belts and pulleys. *International Journal of Mechanical Sciences*. <https://www.iso.org/standard/64662.html>

SKF. (2012). *SKF POWER TRANSMISSION belts author(s) = SKF* (Number 1, p. 169). SKF group. <https://www.skfptp.com/Publications/DownloadFile?document=Downloads%2FCatalogues%2FSKF%20Power%20transmission%20belts.pdf>