

## PROJETO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS: UM ESTUDO COMPUTACIONAL DE COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS CEMA E PRÁTICO

SANTOS, D.A.<sup>1</sup>, MALAGONI, R.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia. dyrneq@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia. malagoni@feq.ufu.br

### RESUMO

Para o projeto de correias transportadoras, são comumente empregados dois métodos: Método Prático e Método CEMA (*Conveyor Equipment Manufacture Association*). O Método Prático, mais simplificado, aplica-se a transportadores simples e de pequena capacidade. Neste, calcula-se primeiramente a potência necessária para o transporte e, a partir desta, as tensões na correia. O método CEMA, mais sofisticado, é aplicável a transportadores de vários lances, curtos ou longos, onde calcula-se inicialmente as tensões em cada lance da correia, e, após isto, calcula-se a potência de acionamento. Com isto, um dos objetivos do presente trabalho foi a criação de um programa computacional, o qual realiza o projeto de correias transportadoras através dos métodos Prático e CEMA. Por meio deste programa, foram realizadas simulações para os materiais: rocha fosfática e minério de ferro (itabiritos) para diferentes configurações de correias transportadoras. Como dados de saída do programa, tem-se as seguintes especificações de projeto: largura da correia, distância do material à borda da correia, capacidade mássica, velocidade da correia e potência do motor. Tanto o Método Prático quanto o Método CEMA se mostraram de suma importância para o projeto de correias transportadoras, sendo o primeiro de grande valia na estimativa inicial de um projeto, enquanto o outro, apesar da maior complexidade, é o mais recomendado para o projeto final de correias transportadoras.

**PALAVRAS-CHAVE:** correia transportadora; método CEMA; método prático.

### ABSTRACT

There are two main methods used for designing belt conveyors: Practical and CEMA (Conveyor Equipment Manufacture Association). The Practical Method is applicable for systems which convey materials at low to moderate capacities over medium distances. This method first determines the power needed for the drive and finally the stress distribution along the belt conveyor. On the other hand, the CEMA Method, considered more accurate than the Practical Method, first determines the stress distribution before the determination of the power needed for the drive. Higher capacity can be handled by this method and it is applicable to more complex systems. In this work, the two methods cited above were implemented in a computer program which was used to carry out a comparison study taking into account the materials: phosphate rock and itabirite iron ore for different belt conveyor configurations. Both methods have proven to be very useful for designing belt conveyors. The Practical method is suitable for the initial design estimate while the CEMA method is the most recommended for the final design.

**KEYWORDS:** belt conveyor; CEMA method; practical method.

## 1. INTRODUÇÃO

As correias transportadoras detêm uma posição dominante no transporte de materiais devido às suas inerentes vantagens, como economia e segurança de operação, confiabilidade, versatilidade e enorme gama de capacidades. Utilizadas nos mais diversos segmentos de mercado, as correias transportadoras possuem características técnicas que permitem sua aplicação em sistemas de transporte e elevação de materiais de pequeno, médio e grande porte, dependendo de sua adequada configuração (ZHANG e XIA, 2011; FERDORKO *et al.*, 2013; ANDRIANOV e HORSSSEN, 2008)

No setor minero-metalúrgico, observa-se que as correias transportadoras constituem o meio mais difundido de transporte para grandes quantidades de materiais a granel, reduzindo desta forma, a quantidade de caminhões e o custo deste tipo de serviço.

Em adição, as correias transportadoras são utilizadas em numerosos processos, em conexão com seu propósito normal de providenciar um fluxo contínuo de materiais entre operações. O sistema é basicamente formado por uma correia sem fim, a qual é estendida entre dois tambores (acionamento e de retorno) principais e roletes justapostos, sobre os quais a correia desliza, com baixo atrito, possibilitando a movimentação de cargas pesadas (FERDOKO e IVANCO, 2012).

O sistema possui alguns fatores limitantes como a velocidade do transporte e a inclinação da correia. A velocidade da correia depende do material a ser transportado e a inclinação da correia pode ser usada, segundo alguns autores, entre 12° e 15° em relação ao plano horizontal. Recentemente, a conformidade com os requerimentos ambientais incentivou a seleção de correias transportadoras sobre outros meios de transporte (VANAMANE *et al.*, 2011; YOU e QING, 2008).

Baseando-se neste contexto e no custo energético empregado no processamento de minérios, torna-se de suma importância o desenvolvimento e a aplicação de métodos cada vez mais precisos para o projeto de correias transportadoras. Um mau projeto destes equipamentos pode causar, dentre outros danos, o acúmulo de sujeiras nas suas lonas que podem se espalhar ao longo do transportador, acumulando-se em roletes de retorno e entradas de “shoot” de descarga. Tudo isso provoca acidentes e travamentos da correia e uma parada imprevista para manutenção acarreta prejuízos na linha de produção (CHEN *et al.*, 2012; ZANOELO *et al.*, 2008).

Para o projeto de correias transportadoras, são comumente empregados dois métodos: Método Prático e Método CEMA. O Método Prático, mais simplificado, aplica-se a transportadores simples e de pequena capacidade. Neste, calcula-se primeiramente a potência necessária para o transporte e, a partir desta, as tensões na correia. O método CEMA, mais sofisticado, é aplicável a transportadores de vários lances, curtos ou longos, onde calcula-se inicialmente as tensões em cada lance da correia, e, após isto, calcula-se a potência de acionamento (SWINDERMAN, 2007).

Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi a confecção de um programa computacional, o qual realiza o projeto de correias transportadoras através dos métodos Prático e CEMA. Por meio deste programa, foram realizadas simulações com os materiais rocha fosfática e minério de ferro (itabirito) para diferentes configurações de correias transportadoras. Como dados de saída do programa tem-se as seguintes especificações de projeto: largura da correia, distância do material à borda da correia, capacidade volumétrica, capacidade mássica, velocidade da correia e potência do motor.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a confecção do programa computacional que realiza o projeto de correias transportadoras utilizou-se a ferramenta matemática *Scilab* versão 4.1.2. Embora o programa aqui desenvolvido contenha um banco de dados incluindo diversos tipos de minérios, o presente trabalho irá considerar, a fim de exemplificação, apenas dois diferentes materiais: rocha fosfática e minério de ferro (itabiritos) com massas específicas de 2980 e 3580 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. A Tabela I fornece, de forma resumida, as capacidades volumétricas de um transportador horizontal a uma velocidade de 1,0 m/s.

**Tabela I. Capacidades volumétricas de um transportador horizontal a uma velocidade de 1,0 m/s.**

Roletes	Ângulo de Acomodação ( $\alpha$ )	Capacidade Volumétrica, $C_{tab.}$ , (m <sup>3</sup> /h) a 1,0 m/s				
		Largura da correia (m)				
		0,41	0,51	1,1	1,5	2,1
3 roletes iguais $\beta = 35^\circ$	10°	...	...	384	812	1631
	20°	...	...	455	961	1929
	30°	...	...	530	1118	2242
3 roletes iguais $\beta = 45^\circ$	10°	...	...	430	909	1822
	20°	...	...	492	1038	2079
	30°	...	...	556	1173	2349

$\beta$  é a inclinação dos roletes e  $\alpha$  é o ângulo de acomodação do material sobre a correia.

Após a obtenção da capacidade volumétrica tabelada ( $C_{tab.}$ ), deve-se realizar, através de fatores de correção ( $K$ ), o cálculo da capacidade volumétrica real (Equação 1) a uma determinada velocidade desejada ( $V$ ) e a uma determinada inclinação do transportador ( $\lambda$ ), sendo que o fator de correção é uma função da inclinação do transportador como mostrado na Tabela 2.

$$C = C_{tab.} VK \quad (1)$$

sendo:  $C$ ,  $C_{Tab.}$ ,  $V$  e  $K$ , a capacidade volumétrica real, a capacidade volumétrica tabelada, a velocidade desejada do transportador e o fator de correção da capacidade de um transportador, respectivamente.

**Tabela II. Fator de correção para capacidade volumétrica real.**

$\lambda$	0°	6°	10°	14°	18°	21°	23°
$K$	1	0,98	0,95	0,91	0,85	0,78	0,73

A Tabela III mostra, de forma resumida, as velocidades máximas do transportador, as quais dependem das características dos materiais transportados. Para material seco e fino, uma velocidade elevada pode causar muita poeira. Para material pesado de grande granulometria ou com partículas pontiagudas, uma velocidade elevada pode causar muito desgaste nas calhas de descarga.

**Tabela III. Velocidade máxima recomendada (m/s).**

Largura da Correia (m)	Cereais e outros materiais de escoamento fácil e	Carvão, terra, minérios desagregados, pedra britada fina e pouco	Minérios e pedras duras, pontiagudos pesados e muito

	não abrasivos	abrasiva	abrasivos
0,41	2,5	1,6	1,6
0,61	3,0	2,5	2,3
0,91	4,1	3,3	3,0
1,10	4,1	3,6	3,0

A seleção da largura da correia é determinada simultaneamente pela capacidade volumétrica desejada ( $C$ ) e pela porcentagem de tamanho máximo do material (Tabela IV).

**Tabela IV. Largura da correia em função da granulometria do material transportado.**

Largura da Correia (m)	Tamanho Máximo do Material (m)					
	$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 20^\circ$		$\alpha = 30^\circ$	
	90% pedaços e 10% finos	100% pedaços	90% pedaços e 10% finos	100% pedaços	90% pedaços e 10% finos	100% pedaços
0,41	0,20	0,13	0,13	0,08	0,07	0,04
0,61	0,30	0,20	0,20	0,12	0,10	0,06
0,91	0,46	0,30	0,30	0,18	0,15	0,09
1,22	0,61	0,41	0,41	0,24	0,20	0,12
1,37	0,69	0,46	0,46	0,27	0,23	0,14

## 2.1. Cálculo da potência de acionamento

O acionamento da correia é feito por um único tambor (acionamento simples) ou por dois tambores (acionamento duplo). Para a determinação da potência de acionamento do motor, são utilizados os Métodos Prático e CEMA.

### 2.1.1. Método Prático

Para o método Prático, calcula-se primeiramente a potência necessária para o transporte e, a partir desta, as tensões na correia. A potência efetiva necessária para o transporte do material é calculada pela Equação 2.

$$N_E = \frac{V}{1} (N_V + N_G) + (Q/27,8)(N_1 \pm N_h) \quad (2)$$

Sendo:  $N_E$ ,  $V$ ,  $N_V$ ,  $N_G$ ,  $Q$ ,  $N_1$  e  $N_h$ , a potência total efetiva, a velocidade de projeto, a potência para acionar o transportador vazio a uma velocidade de 1,0 m/s, a potência para vencer o atrito das guias laterais à velocidade de 1,0 m/s, a capacidade mássica, a potência para deslocar 27,8 kg/s de material de uma distância na horizontal e a potência para elevar ou descer 27,8 kg/s de material de certa altura, respectivamente.

Com a potência efetiva ( $N_E$ ), pode-se obter a tensão efetiva na correia ( $T_e$ ), que é a força tangencial que movimentará a correia (Equação 3).

$$T_e = \frac{75N_E}{V} \quad (3)$$

Os valores dos parâmetros  $N_V$ ,  $N_I$ ,  $N_h$  e  $N_G$ , utilizados na Equação 2, encontram-se no Manual de Transportadores Contínuos da Fábrica de Aço Paulista S.A. (1981).

### 2.1.2. Método CEMA

Para o método CEMA (SWINDERMAN, 2007), calculam-se inicialmente as tensões em cada lance da correia através da Equação 4.

$$T_e = L(K_X + K_Y W_b + 0,015W_b) \pm HW_m + T_a \quad (4)$$

Sendo que:  $T_e$ ,  $L$ ,  $K_X$ ,  $K_Y$ ,  $W_b$ ,  $H$ ,  $W_m$  e  $T_a$ , a tensão efetiva na correia, o comprimento do transportador, a resistência à rotação dos roletes e ao deslizamento da correia sobre os mesmos, o fator relativo às resistências à flexão da correia e do material sobre os roletes, o peso linear da correia, a altura de elevação ou descida do material na correia (sendo positivo para subida e negativa para descida), o peso do material na correia e a tensão para vencer o atrito dos acessórios e para acelerar o material, respectivamente.

Obtida a tensão efetiva ( $T_e$ ), determina-se a potência efetiva ( $N_e$ ) necessária para o transporte do material, pela Equação 5.

$$N_e = \frac{T_e V}{75} \quad (5)$$

A tensão para vencer o atrito dos acessórios e acelerar o material é dada, de forma resumida, através da soma das parcelas indicadas abaixo (Equação 6).

$$T_a = F_g + F_d + F_1 + F_a \quad (6)$$

Cujos parâmetros  $F_g$  e  $F_a$  são calculados pelas Equações 7 e 8.

$$F_g = 0,01488C_S L_g B^2 + 8,92L_g \quad (7)$$

Sendo:  $F_g$ ,  $L_g$ ,  $B$  e  $C_S$ , a força, o comprimento das guias laterais, a largura da correia e o fator devido ao atrito do material com as guias (SWINDERMAN, 2007).

$$F_a = \frac{Q(V^2 - V_C^2)}{36V} \quad (8)$$

Sendo:  $V_C$  a componente da velocidade do material na direção do deslocamento da correia.

O parâmetro ( $F_d$ ) é a força necessária para vencer o atrito dos desviadores. Para 100% de material desviado, o valor de  $F_d$  (dado em kgf) é de 0,55 vezes a largura da correia ( $B$ ) dada em polegadas (in), enquanto para 50% de material desviado, o valor de  $F_d$  é de 0,36 vezes a largura da correia. O parâmetro ( $F_1$ ) é a força necessária para vencer o atrito dos raspadores e limpadores, sendo seu valor (dado em kgf) de 1,15 vezes a largura da correia ( $B$ ) em polegadas (in), para cada raspador ou limpador.

Para o cálculo de  $K_X$  (Equação 10), resistência à rotação dos roletes e ao deslizamento da correia sobre os mesmos, utilizado na Equação 4, deve-se, primeiro, determinar o peso linear da correia usando os valores reportados em Swinderman (2007). Esses valores devem ser considerados como primeira aproximação sendo que, após conhecida a correia, seu peso deverá ser recalculado. O peso linear do material ( $W_m$ ) é dado pela Equação 9.

$$W_m = 0,277 \frac{Q}{V} \quad (9)$$

Logo:

$$K_X = 0,00068(W_m + W_b) + \frac{X}{a} \quad (10)$$

Sendo:  $X$  e  $a$  o coeficiente função dos diâmetros do eixo e do rolo dos roletes e o espaçamento entre os roletes, respectivamente (SWINDERMAN, 2007).

O último parâmetro necessário ao cálculo do método CEMA, ou seja,  $K_Y$ , fator relativo às resistências à flexão da correia e do material sobre os roletes, pode ser extraído de Swinderman (2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o projeto de correias transportadoras utilizaram-se duas configurações diferentes: configuração 1 e configuração 2 (Tabela V).

**Tabela V. Configurações utilizadas para o projeto de correias transportadoras.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Configuração 1</b>	<b>Configuração 2</b>
Material transportado	Rocha fosfática	Minério de ferro (itabiritos)
Granulometria	90 % de pedaços e 10% de finos	100% de pedaços
Tamanho máximo (m)	0,2	0,25
Ângulo de acomodação (°)	20	20
Número de roletes	3	3
Inclinação dos roletes (°)	35	45
Velocidade projeto (m/s)	80% da velocidade máxima	85% da velocidade máxima
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2980	3580
Numero de guias laterais	2	3
Comprimento das guias laterais (m)	30	25
Distância na horizontal (m)	90	120
Distância na vertical (m)	12	18
Capacidade de projeto (kg/s)	90% da capacidade máxima	92% da capacidade máxima
Eficiência do motor (%)	85	80
Classe dos roletes	Classe E6	Classe E6
Espaçamento entre os roletes (m)	1,1	1,1
Tipo de esticador	Esticador de gravidade	Esticador de gravidade
Revestimento do tambor	Borracha	Borracha

Os resultados dos projetos utilizando-se as configurações 1 e 2 foram dispostos na Figura 1. O projeto utilizando o método CEMA foi dividido em duas categorias: Método CEMA com simples acionamento (CEMA-SA) e Método CEMA com duplo acionamento (CEMA-DA), no intuito de

avaliar, também, a influência dos acessórios. Para o método Prático, a opção de duplo acionamento não é levada em consideração, logo, utilizou-se apenas o simples acionamento.

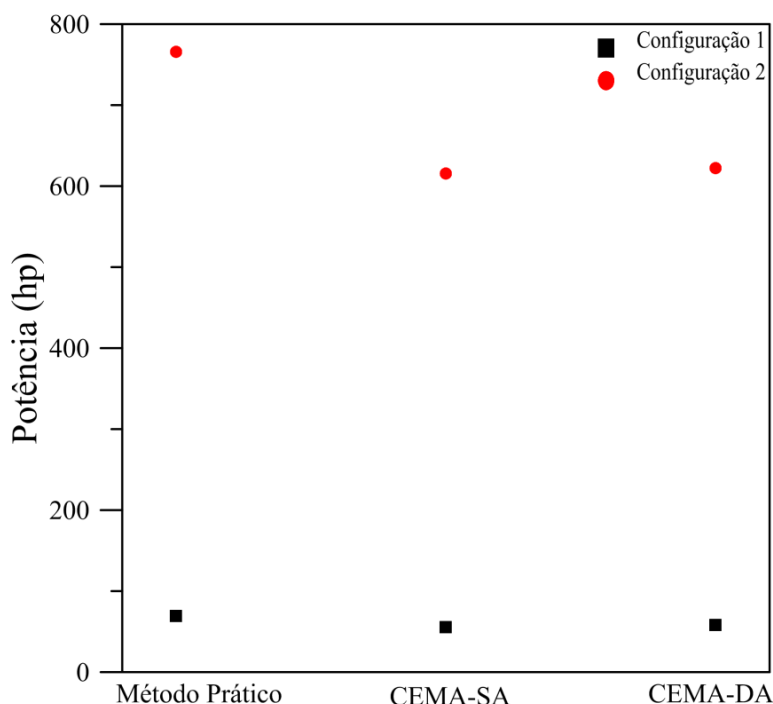


Figura 1. Potência de acionamento em função dos métodos de projeto de correias transportadoras para diferentes configurações.

Observou-se pela Figura 1, que para a configuração 1 e 2, a potência do motor necessária para transportar o material calculada pelo método Prático, foi de aproximadamente 24,2% maior do que aquela calculada pelo método CEMA com simples acionamento (CEMA-SA). Para o método CEMA, a maior potência requerida foi quando se utilizou o duplo acionamento, o que já era de se esperar, pois quanto maior o número de acessórios, maior o atrito entre estes e a correia.

Os valores da largura da correia ( $B$ ), velocidade de projeto da correia ( $V$ ), capacidade mássica de projeto ( $Q$ ) e distância do material à borda da correia ( $D_m$ ) dependem somente das características dos materiais a serem transportados, logo, independe do método de projeto utilizado. Para a configuração 1, os valores calculados foram de 0,61 m, 1,85 m/s, 180,31 kg/s e 0,06 m, respectivamente. Já para a configuração 2, estes valores foram de 1,28 m, 2,81 m/s, 1782,84 kg/s e 0,09 m, respectivamente.

Em relação aos materiais transportados e as diferentes configurações utilizadas, observou-se que a configuração 2 necessitou de uma maior potência quando comparada à configuração 1, devido aos seguintes fatores: a massa específica do minério de ferro é 20% maior do que a da rocha fosfática; a velocidade de projeto da configuração 2 foi maior do que a da configuração 1, ocasionando uma maior capacidade mássica de transporte; a configuração 2 utilizou um número maior de guias laterais do que a configuração 1, ocasionando um maior atrito com a correia; tanto a distância na horizontal quanto na vertical foram maiores na configuração 2, além do fato da eficiência do motor ser menor nesta configuração.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pôde-se concluir que tanto o Método Prático quanto o Método CEMA se mostraram de suma importância para o projeto de correias transportadoras, sendo o primeiro de grande valia na estimativa inicial de um projeto, enquanto o outro, apesar da maior complexidade, é o mais recomendado para o projeto final de correias transportadoras. Vale ressaltar, também, a grande necessidade em se desenvolver métodos cada vez mais precisos para o projeto de correias transportadoras visando, dentre outros fatores, a maximização da economia energética e a minimização de materiais dispersos no ambiente.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos recursos concedidos no Projeto de Participação Coletiva em Evento Científico ou Tecnológico (PCE-00019-13).

#### 6. REFERÊNCIAS

- ANDRIANOV, I. V., HORSSSEN, W. T. On the transversal vibrations of a conveyor belt: applicability of simplified models, *Journal of Sound and Vibration*, v. 313, p. 822–829, 2008.
- CHEN, X.L., WHEELER, C.A., DONOHUE, T.J., MCLEAN, R., ROBERTS, A.W. Evaluation of dust emissions from conveyor transfer chutes using experimental and CFD simulation, *International Journal of Mineral Processing*, v. 110, p. 101-108, 2012.
- FÁBRICA DE AÇO PAULISTA S. A. Manual de transportadores contínuos. 3ª edição. 300 p. Brasil. 1981.
- FEDORKO, G., IVANCO, V. Analysis of force ratios in conveyor belt of classic belt conveyor, *Procedia Engineering*, v. 48, p. 123 – 128, 2012.
- FEDORKO, G., MOLNÁR, V., Z IVCÁK, J., DOVICA, M., HUSÁKOVÁ, N. Failure analysis of textile rubber conveyor belt damaged by dynamic wear, *Engineering Failure Analysis*, v. 28, p. 103-114, 2013.
- SWINDERMAN, R.T. CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association) - Belt Conveyors for Bulk Materials, Chaners Publishing Company, Inc. 6 th edition, p. 567, 2007.
- VANAMANE, S.S., MANE, P. A., INAMDAR K.H. Introduction to belt conveyor system used for cooling of mould, *National Conference on Recent Advances in Manufacturing Engineering and Technology*, Hyderabad, p. 104-108, 2011.
- YOU, -F. H., QING, -R. M. Dynamic characteristics of conveyor belts, *J. China Univ Mining & Technol*, v. 18, p. 0629–0633, 2008.
- ZANOELO, E.F., ABITANTE, A., MELEIRO, L.A.C. Dynamic modeling and feedback control for conveyors-belt dryers of mate leaves, *Journal of Food Engineering*, v. 84, p. 458–468, 2008.
- ZHANG, S., XIA, X. Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors, *Applied Energy*, v. 88, p. 3061–3071, 2011.