

## Análise crítica dos ensaios normatizados de adesão em correias transportadoras

Lins, P.G.<sup>(1)</sup>; Vacciola, K.B.<sup>(1)</sup>; Falqueto, P.A.<sup>(2)</sup>; Penagos, J.J.<sup>(3)</sup>; Bastos Andrade, C.G.<sup>(1)</sup>; Yee, M.<sup>(4)</sup>; Wiebeck, H.<sup>(1)</sup>; Toffoli, S.M.<sup>(1)</sup>; Valera, T.S.<sup>(1)</sup>

(1) Escola Politécnica da USP; (2) Vale S.A.; (3) Instituto Tecnológico Vale; (4) UNIFESP

[tvalera@usp.br](mailto:tvalera@usp.br)

*As falhas em correias transportadoras destinadas ao transporte de minérios podem ser ocasionadas por diversos tipos de danos, tais como: por impacto ou por material aprisionado, danos na extremidade da correia, cobertura superior desgastada, danos causados pelo limpador, falhas de emenda, envergamento da correia, curvatura da correia e, por fim, delaminação da correia, que é considerada uma falha de adesão. Um dos ensaios mais utilizados para avaliar a adesão entre os constituintes de correias transportadoras, e muito utilizado como ferramenta de controle da qualidade da adesão, é o descrito na norma ISO 252. Neste trabalho, uma correia transportadora reforçada com tecido (lona) de fibras de poliamida e poliéster, foi selecionada e submetida a ensaios de adesão, seguindo a norma ISO 252. A norma descreve dois métodos que se diferenciam pelo número de camadas destacadas em cada ensaio, em uma máquina universal. O método A da norma ISO 252, preconiza que a camada de cobertura e as camadas de reforço intermediárias devem ser destacadas uma a uma, e a adesão é determinada a partir dos pontos máximos de força, obtidos nos gráficos de força versus deformação. O segundo método avaliado é o método B, no qual, à exceção da camada de cobertura, as camadas de reforço são destacadas de duas em duas, e a interpretação dos resultados segue a mesma metodologia empregada para o método A. Os resultados foram analisados utilizando ferramenta computacional para identificação automática dos picos, de acordo com a norma ISO 6133. Fez-se uma análise sistemática sobre os métodos de ensaio, inclusive investigando-se a região da correia na qual os corpos de prova foram extraídos. Além disso, avaliou-se os critérios de interpretação dos resultados. As análises indicaram que a determinação da força de adesão entre as camadas independe dos métodos de ensaio propostos na norma ISO 252. A força de adesão média obtida pelos métodos A e B foram da ordem de 8 N/mm e 9 N/mm, respectivamente. Após a análise dos dados, considerando-se os respectivos desvios-padrão, observou-se que a força de adesão apresentou pouca variabilidade em função da região de extração dos corpos de prova e do método de ensaio, isto é, A ou B.*

**Palavras-chave:** Correias transportadoras, Adesão, Norma ISO 252

### 1. INTRODUÇÃO

Na indústria de mineração, os sistemas transportadores de correias (TC) são amplamente utilizados (áreas de extração, beneficiamento, estocagem e transporte de minérios), pois são equipamentos versáteis e projetados para realizar sua função mesmo em condições adversas. A correia transportadora é o elemento principal de um sistema transportador de correias. Em geral, uma correia transportadora possui uma estrutura interna, designada carcaça, altamente resistente, reforçada com cabos de aço ou tecidos poliméricos (lona), conforme representado nas ilustrações da Figura 1. A estrutura superior e inferior da correia, designada cobertura, é geralmente constituída por uma espessa camada de borracha e tem como principal função revestir a carcaça e protegê-la contra os efeitos da abrasão, impacto, rasgo, calor, e ataque químico e intempéris, decorrente do material transportado ou outras condições adversas.<sup>[1,2]</sup>

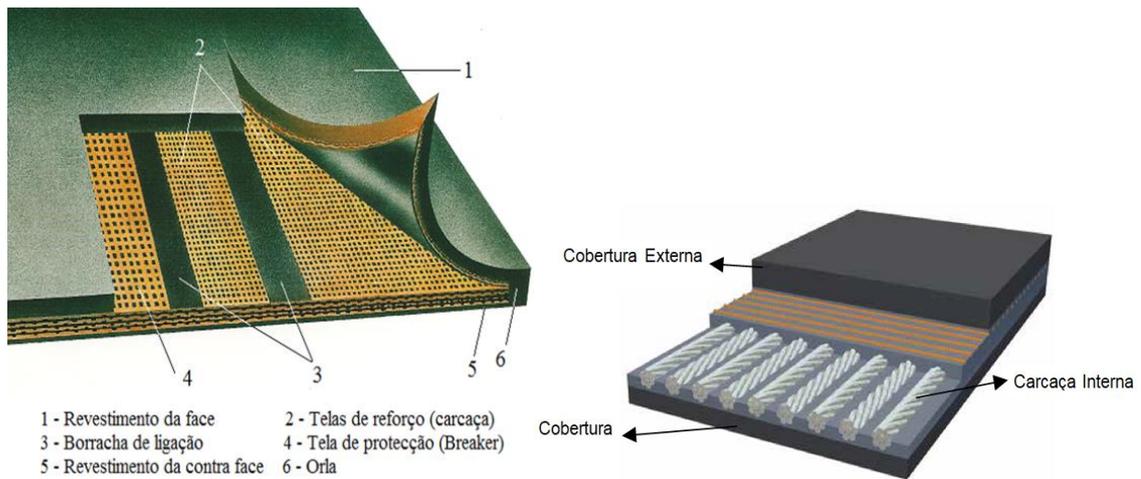


Figura 1: Representação esquemática de uma correia transportadora: (a) reforço em tecido; (b) reforço de cabos de aço. Fonte: [3].

No entanto, é necessário que haja uma boa adesão entre a borracha e a carcaça para que as características de reforço sejam efetivas, ou seja, para que haja uma transferência de carga efetiva entre a matriz (borracha) e o material de reforço<sup>4,5,6</sup>.

Existem cinco mecanismos fundamentais que contribuem para a adesão total entre dois materiais: ancoragem mecânica, difusão, ligação química (covalente ou iônica), interação dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio<sup>6</sup>.

É complexo medir cada um desses mecanismos individualmente pois atuam em conjunto para garantir a adesão de um material ao outro. Ensaios de adesão normatizados permitem avaliar a interação entre as camadas de borracha e a carcaça, porém não fornecem informações sobre cada um dos fatores que contribuem para a adesão, isoladamente. Mede-se apenas a força de adesão entre os componentes.

Os ensaios de adesão realizados no âmbito deste artigo foram baseados na norma ISO 252:2008. Este ensaio consiste no destacamento de forma ordenada das camadas de borracha dos reforços de tecido. A norma propõe dois métodos para o destacamento entre as camadas de borracha e o reforço de tecido. A Figura 2 mostra de forma esquemática a ordem de destacamento dos métodos “A” e “B”.

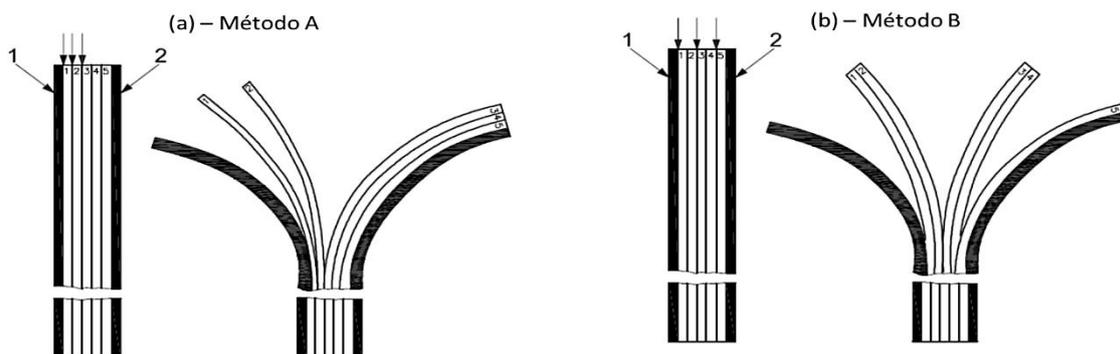


Figura 21: Ordem de destacamento das camadas de borracha entre os reforços de tecido, (a) pelo método A e (b) pelo método B (ISO 252:2008)

Correias transportadoras são produtos complexos, de grandes dimensões, produzidas em equipamentos industriais de grande porte e, estão sujeitas a inevitáveis variações das condições e dos parâmetros de processo. Tais variações durante o processo de fabricação podem ocasionar alterações nas propriedades mecânicas da borracha de cobertura e na adesão dos elementos de reforço. Como exemplo de fatores de processamento que podem influenciar nas

propriedades finais do produto, podem ser citados: diferenças na distribuição de temperatura ao longo da prensa, distribuição não uniforme dos componentes do composto de borracha e das cargas inorgânicas, presença de bolhas no interior da correia, dentre outros. Sendo assim, para verificar possíveis heterogeneidades nas correias, ensaios de adesão podem ser realizados a partir de corpos de provas extraídos de diferentes regiões da correia.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a força de adesão entre os constituintes de uma correia transportadora comercial reforçada com carcaça de tecido, avaliando-se as duas metodologias apresentadas na norma ISO 252:2008 e a posição de extração dos corpos de prova de adesão, ao longo do sentido longitudinal da correia.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, descrevem-se os materiais utilizados, as técnicas de obtenção dos corpos de prova e de avaliação da força de adesão.

### 2.1 Materiais

Para realização deste trabalho foi selecionada um modelo de correia transportadora de minérios comercial, fabricada no Brasil, reforçada com cinco camadas de tecido, composto por urdume em poliéster e trama de poliamida.

### 2.2 Obtenção dos corpos de prova

Os corpos de prova para realização do ensaio de adesão foram obtidos por meio de uma máquina de corte vertical (serra de fita) da marca Starret, modelo S-2510, com velocidade constante de 2000 RPM. Os corpos de prova possuem  $25 \pm 0,5$  mm de largura e ao menos 200 mm de comprimento, que garanta uma área útil de arrancamento de ao menos 100 mm. Todos os resultados foram realizados em triplicata. Os ensaios de adesão foram realizados com base na norma (ISO 252:2008) métodos A e B, em uma máquina universal de testes Kratos KE 3000 MP, com célula de carga de 3.000 kgf e velocidade de 100 mm/min. Os corpos de prova foram extraídos no sentido longitudinal da correia, consideradas as seguintes regiões: lateral da correia (sempre após descarte da borda),  $\frac{1}{4}$  da correia (região a meio caminho entre a lateral e o centro) e central da correia, conforme ilustrado na Figura 3.

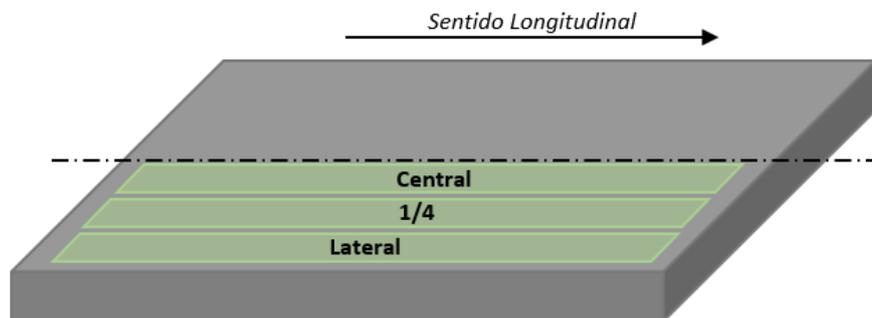


Figura 3: Representação esquemática das regiões de extração dos corpos de prova de uma correia, no sentido longitudinal, e com as indicações das posições lateral,  $\frac{1}{4}$  e central.

A análise dos resultados dos ensaios foi realizada baseando-se na norma 6133:2015, método B. A identificação dos pontos máximos de força, obtidos a partir de curvas de força versus deformação, foi realizada com auxílio do software "Microcal Origin". São reportados os resultados de força de adesão, em N/mm, calculada para cada corpo de prova, utilizando-se o critério de valor médio dos picos mais intensos da faixa útil da curva força versus deformação, e o desvio-padrão.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados de força de adesão para os corpos de prova ensaiados.

#### 3.1. Resultados de força de adesão – Método A

São apresentados na Tabela 1, os valores referentes à média de força de adesão de todos os destacamentos e de todos os corpos de prova ensaiados realizados em triplicata, para cada região de extração, e o valor da média global dos corpos de prova das três regiões. Ensaios baseados no método A da norma ISO 252.

Tabela 1 - Médias das forças de adesão e correspondente desvio padrão, de corpos de prova extraídos ao longo das regiões lateral, ¼ e central da correia estudada, utilizando o método A da norma ISO 252:2008.

Método A	Posição			Global
	Lateral	1/4	Central	
Força de adesão (N/mm)	10,8	8,4	8,9	9,4
Desvio Padrão	1,0	1,0	0,8	0,9

Considerando-se a variação nos resultados entre as posições de origem dos corpos de prova (central, ¼ e lateral): para esse conjunto de amostras, é consistente verificar-se valores de força de adesão maiores para as amostras que têm como origem, a lateral da correia. Também existe a tendência, de que as forças de adesão na região central sejam levemente maiores do que aquelas para a posição ¼. Assim, é possível afirmar-se (com a ressalva de que essas conclusões são aplicáveis apenas para o presente conjunto de corpos de prova), que a força de adesão entre as camadas constituintes da correia varia, em função do seu local de origem na correia, na seguinte sequência: lateral > central > ¼.

#### 3.2. Resultados de força de adesão – Método B

São apresentados na Tabela 2, os valores referentes à média de força de adesão, determinada com base na norma ISO 252 método B, de todos os destacamentos e de todos os corpos de prova ensaiados, para cada região de extração, e o valor da média global dos corpos de prova das três regiões.

Tabela 2 - Médias das forças de adesão e correspondente desvio padrão, de corpos de prova extraídos ao longo das regiões lateral, ¼ e central da correia, utilizando o método B da norma ISO 252:2008.

Método B	Posição			Geral
	Lateral	1/4	Central	
Força de adesão (N/mm)	10,6	7,6	5,7	8,0
Desv Pad	1,0	0,9	0,7	0,9

De acordo com os resultados obtidos pelo método B, observa-se que, as amostras extraídas da região lateral da correia, apresentaram, consistentemente, valores de força de adesão maiores, em comparação às duas outras regiões, análogo ao comportamento identificado no método A. No entanto, houve uma inversão no comportamento de adesão para as regiões central e  $\frac{1}{4}$ , e, desse modo, estabelecendo uma ordem diferente nas forças de adesão: lateral  $>$   $\frac{1}{4}$   $>$  central.

#### 4. CONCLUSÕES

Considerando-se os valores de força de adesão obtidos neste trabalho, para as regiões: central,  $\frac{1}{4}$  e lateral, os valores de adesão apresentaram variações em diferentes regiões da correia. Entretanto, comparando-se os métodos A e B para cada uma das regiões de origem dos corpos de prova (central,  $\frac{1}{4}$  e lateral), não foi possível identificar-se uma tendência clara sobre qual método resultaria em maiores ou menores valores de adesão. Ademais, excluindo-se os resultados obtidos para a região central, pode-se dizer que ambos os métodos forneceram valores de força de adesão similares (quando se consideram os desvios padrão), ou seja, os resultados aqui reportados indicam que a determinação da força de adesão por meio da norma ISO 252, independe do método de ensaio, A ou B.

#### 5. REFERÊNCIAS

1. PANG, Y. Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control. Em Y. PANG, Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control (p. 196). Netherlands: Trail Thesis Series. 2010;
2. SWINDERMAN, R., MARTI, A., GOLDBECK, L., MARSHAL, D., & STREBEL, M. Foundations- The practical resource for cleaner, safer, more productive dust and material control. Em R. SWINDERMAN, & e. al., Foundations- The practical resource for cleaner, safer, more productive dust and material control. (p. 574). Martin Engineering Company. 2009;
3. METSO Conveyor Solutions. Fonte: METSO Expect Results: <https://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/brochure-cs-handbook-3423-012017-en.pdf> 2019;
4. FUNG, W. e HARDCASTLE, M. 2001. Textiles in automotive engineering. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001.1.
5. Sen, A.K. 2008. Coated textiles: principles and applications. Boca Raton : Taylor and Francis Group, 2008. 2.
6. GOLDSCHMIDT, A. e STREITBERGER, H.-J. 2007. Basf Handbook on Basics of Coating Technology. s.l. : Vincentz Network, 2007.

### **Critical analysis of standard adhesion tests of conveyor belts**

*Failures in conveyor belts used in the mining industry, for the transport of ore, can be caused by various types of damage, such as: impact or trapped material, damage to the belt edges, worn top cover, damage caused by the cleaner, splice failures, belt bending, and belt delamination, which is considered an adhesion failure. Adhesion failures can occur with high frequency and result in high costs and long conveyor repair periods. One of the most used tests to evaluate adhesion between the constituents of conveyor belts, and widely used as a tool to control the quality of adhesion, is the one described by ISO 252 standard. In this work, an industrial conveyor belt reinforced with polyamide and polyester fibers fabric (canvas), was selected to be submitted to adhesion tests, under tensile stress in a universal testing machine, according to the standard. Method A determines that the detachment must be performed between each two layers which comprise the belt. The adhesion force is then calculated based on the ISO 6133 standard, in which the adhesion is calculated by the average value for the maximum intensity peaks in the force x deformation graph. The second method (B) of the standard determines, with the exception for the detachment of covering rubber layer and the first fabric layer, which is also tested, that all the following detachments to be made pulling*

*two layers at a time. These results must also be treated using ISO 6133 standard. Data obtained in the test was processed using a computational tool for automatic identification of peaks. A systematic analysis was carried out on the test methods, including investigating the influence of the region of extraction of the specimens from the belt on the results. In addition, the criteria for interpreting the results were compared. The average adhesion force obtained by methods A and B were in the order of 8.1 N/mm and 9.4 N/mm, respectively. After analyzing the fluctuation in the data, also considering the respective standard deviations, it was observed that a slight oscillation in the measured adhesion force among the various specimens is natural and showed little dependance on the region of extraction of the specimens. In conclusion, considering all these facts, both test methods, A and B, led to equivalent results.*