

FENÔMENOS TRIBOLÓGICOS: ANÁLISE DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIA UTILIZADO NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO*

Zirlene Alves da Silva Santos¹
Washington Luis Vieira da Silva²
Leonardo Castro Alvarenga³

Resumo

O presente trabalho analisa as falhas por desgaste em um transportador de correia de uma empresa mineradora que beneficia o minério de ferro. O transportador de correia, por ser um equipamento crítico em qualquer linha de produção, é o objeto do estudo de caso utilizado para o desenvolvimento do trabalho. O objetivo desse estudo é reunir informações a respeito dos desgastes que o transportador apresenta em um determinado período de tempo para criar uma tabela com os principais tipos de desgastes e a frequência com que eles ocorrem. As falhas por desgaste são encontradas através da pesquisa documental pelo software Maximo e da análise feita no local do transportador. Como resultados das análises foi constatado que o desgaste predominante é o abrasivo por dois e três corpos, esse promove a perda gradual de material da superfície dos componentes do transportador de correia.

Palavras-chave: Tribologia; Desgaste; Transportador de correia; Sistemas minerometalúrgicos.

TRIBOLOGICAL PHENOMENA: ANALYSIS OF A BELT CARRIER USED IN THE BENEFICIATION PROCESS

Abstract

This paperwork has as purpose analyzing the failure by wear of a conveyor belt from a mining company that benefits the iron ore. The conveyor belt, by being a critical equipment in any production line, is the object case study in the development of the paperwork. The purpose of this study is to gather information concerning the wear that the conveyor belt presents in a specific period of time in order to develop a chart containing the main types of wear and their frequency of occurrence. The failures by wear are found in documental research by Maximo software and by local analysis of the conveyor belt. With the result of the analysis was found that the responsible for the major wear is the abrasive by two or three frames, they cause the gradual lost from the components surface material of the conveyor belt.

Keywords: Tribology; wear; Conveyor belt; Ore and metallurgical systems.

- ¹ Engenharia de Materiais, Doutor, Professor Adjunto II, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.
- ² Engenharia de Materiais, Doutor, Professor Adjunto II, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.
- ³ Engenharia Mecânica, Graduação, Aluno, Departamento Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As mineradoras desempenham um importante papel, dentro cenário econômico, por fornecerem matéria prima para diversos tipos de empresas. Elas extraem desde carvão, metais e pedras preciosas até minérios para fertilizantes e para produção de metais que são utilizados em inúmeros produtos do nosso dia a dia. O Brasil possui cerca de 70 tipos de substâncias minerais em 3.354 minas que estão espalhadas por todo território, dentre elas 159 estão caracterizadas como de grande porte e extraem mais de um milhão de toneladas de minério por ano. As mineradoras foram responsáveis por 1,2% do PIB nacional, representando cerca de 45 bilhões de dólares. Isso demonstra a grande importância que as empresas deste setor têm para o Brasil.

O fator multiplicador também pode ser apontado, pois, como o setor extrativo é constituído de produtos primários, apresenta ao longo dos setores de transformação e uso efetivo do produto final, uma importância ainda maior para o país e o mundo.

No sistema produtivo minero metalúrgico, o minério é lavrado por meio de tratores e transportado por caminhões fora de estrada até às instalações de beneficiamento. O beneficiamento inicia-se pela britagem e em seguida passa por vários processos de peneiramento, lavagem e filtragem para que possa ser transportado até os pátios e, finalmente, é embarcado em trens e navios para os clientes. No processo de beneficiamento, o minério passa por complexas etapas e diferentes equipamentos como britadores, peneiras, correias transportadoras, expessadores, floculantes, bombas e filtros. Os equipamentos possuem, atrelados a eles, diversos elementos de máquinas que juntos constituem a alma do beneficiamento do minério.

Alguns equipamentos possuem um alto grau de criticidade para a operação e produção, são esses os que fazem o transporte interno do produto, gerando a ligação entre instalações, equipamentos e trem de embarque. São, portanto, vitais para o funcionamento ininterrupto da usina de beneficiamento. A correia transportadora, além de fazer parte do processo e sistema produtivo, exerce importantíssima função dentro da usina.

A figura 1 ilustra, esquematicamente, os principais componentes do transportador de correia conforme Swinderman et al [7].

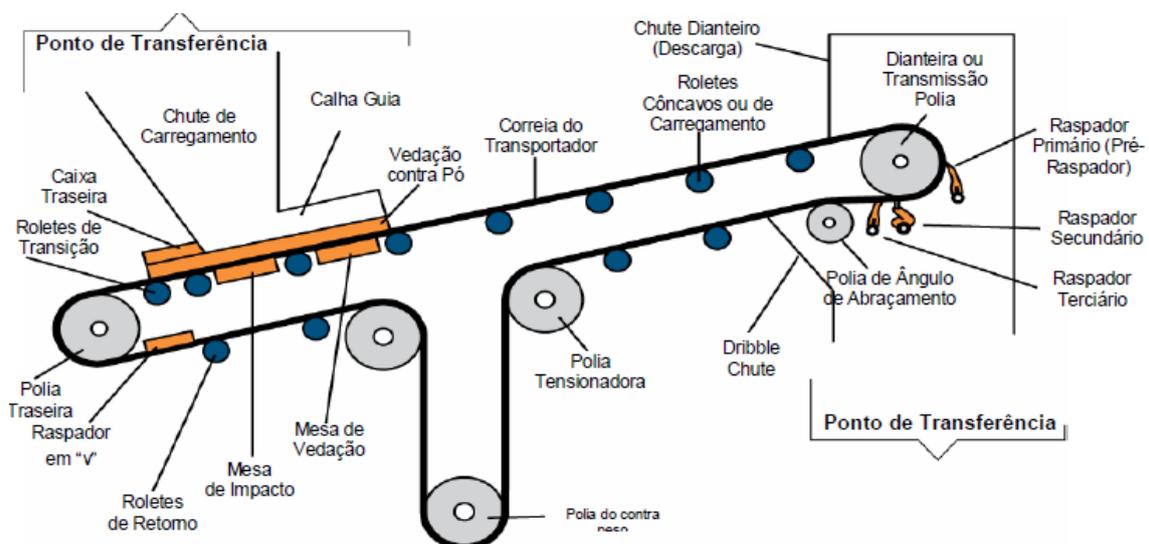


Figura 1: Esquema básico de um transportador de correia [7].

Na figura 1 é possível compreender a simplicidade do funcionamento de um transportador de correia, todos os componentes se interagem e promovem o transporte do material. “Em essência, um transportador de correia é uma tira de borracha grande e reforçada, esticada ao redor de duas ou mais polias, se movimentando em uma velocidade definida, carregando uma quantidade específica de materiais [7]”.

Paradas não programadas, dentro de uma planta de produção, geram uma grande perda. A perda de produção significa retrabalho da mão de obra, gastos com energia e materiais, resultando em diminuição da lucratividade. Correias com desgaste excessivo, rupturas ou rasgos (nas dimensões) são causas típicas de paradas não programadas no escopo da manutenção. Para Hutchings [1], “O movimento da superfície de um sólido sobre outro é fundamentalmente importante para o funcionamento de vários tipos de mecanismos”. Movimentos que causam o desgaste dos componentes são imprescindíveis para o funcionamento do equipamento. A eliminação desses movimentos acarreta no não funcionamento do equipamento, ou seja, o movimento relativo entre duas superfícies sempre existirá, assim como o desgaste. Entretanto, é necessário que se realize a gestão de ativos para evitar que o movimento relativo normal, inerente ao funcionamento do equipamento, se transforme em uma falha potencial e funcional.

Este trabalho apresenta uma análise realizada no equipamento transportador de correia durante o beneficiamento de minério, para identificar os principais fenômenos tribológicos, suas causas e impactos. A metodologia empregada na pesquisa é exploratória, descritiva e utiliza a técnica de estudo de caso.

2 FENÔMENOS TRIBOLÓGICOS

Segundo Hutchings [1], um sistema tribológico consiste na superfície de dois componentes que entram em contato móvel e com uma área adjacente entre eles. O tipo, evolução e volume de desgaste dependem do material e acabamento que estes componentes e eventuais materiais intermediários possuem.

Hutchings [1], afirma que, quando existe atrito e movimento relativo entre dois materiais, ocorre uma perda progressiva de material. Assim, explica-se o desgaste, que é definido como o prejuízo mecânico de uma das partes ou ambas.

Stoeterau [2], afirma que todas as superfícies sólidas possuem irregularidades, mesmo as que parecem espelhadas possuem irregularidades em escala nanométrica. As rugosidades são um conjunto de irregularidades da superfície de um material e o aumento dessas rugosidades causa o aumento do desgaste. Quanto mais rugoso, maior será o atrito e maior a perda de material em função do movimento relativo entre dois corpos.

A classificação pura e simples dos desgastes é qualitativa, não é relacionada a valores numéricos, é dividida em leves e severos. Diante disso, para avaliar essa classificação, Stoeterau [2], definiu em seu estudo definições dos desgastes leve e severo, conforme tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos desgastes [2]

DESGASTE LEVE	DESGASTE SEVERO
Resulta em superfícies extremamente suaves, geralmente mais suaves do que a original.	Resulta em superfícies ásperas, com ranhuras profundas, em geral muito mais rugosa do que a original.
Produz partículas extremamente pequenas, na ordem de 0,1 mm de diâmetro	Produz partículas grandes, tipicamente com diâmetro médio acima de 0,01 mm.
Alta resistência elétrica de contato, pouco contato metálico real.	Baixa resistência elétrica de contato, formação de contatos metálicos.

Uma força normal atua sobre as pontas das irregularidades e cria deformações elásticas e adesões. A força de atrito que impõe o movimento relativo entre as superfícies é definida como a força necessária para cisalhar as asperezas aderidas e elasticamente intravadas.

Por sua vez Pascoali [3] descreveu os três principais movimentos relativos que causam desgaste, sendo eles: o deslizamento, o rolamento e o movimento que é a combinação dos dois.

Pascoali [3], mostra que o desgaste é de fato um fenômeno complexo, que existem separadamente ou em combinações de modos diferentes de desgastes. Existem quatro subdivisões de desgaste que podem ser citadas:

- Desgaste por adesão;
- Desgaste por abrasão;
- Desgaste por oxidação;
- Desgaste por fadiga superficial.

Essas subcategorias podem se apresentar em um sistema tribológico de forma combinada e estão integradas complexamente a vários fatores, incluindo dureza, tenacidade, ductilidade, módulo de elasticidade, tensão de escoamento, propriedades relativas à fadiga, estrutura cristalina, composição das superfícies, geometria, pressão de contato, temperatura, estado de tensão, distribuição de tensão, coeficiente de atrito, distancia de escorregamento, velocidade relativa, acabamento superficial, lubrificantes, contaminantes e atmosfera ambiente.

2.1 Desgaste Abrasivo

Budinski *et al* [4] descreveu a classificação de desgaste abrasivo. O autor afirmou, que é classificado como desgaste abrasivo: aquele que é produzido por partículas duras que se movem em uma superfície sólida. Nesses casos, a partícula que produz o desgaste sobre a superfície deve ser mais dura, danificando assim a superfície e promovendo perda gradativa de material quando há movimento relativo. Essas partículas duras possuem um certo grau de cantos agudos que promovem o corte por uma ação cisalhante na superfície. Existem dois meios de ação que geram o desgaste abrasivo, o sistema com dois corpos e com três corpos.

No desgaste por dois corpos as partículas se movem livremente sobre uma superfície. Já no desgaste por três corpos, as partículas abrasivas que podem ser contaminantes, poeira, minério entre outros, se localizam na interface entre o corpo sólido e o contra corpo. Pascoali [3] destaca que: “O desgaste quando envolve três corpos é cerca de duas a três vezes menor do que quando envolve dois corpos. Pois, no caso de três corpos, devido à variação no ângulo de ataque, apenas uma pequena porção das partículas causam desgaste”.

Uma classificação feita por Zum-Gahr (1987) apud Castro (2010) [5] é em relação ao tipo de dano que a superfície sofre, da seguinte forma:

1 –Microsulcamento: O microsulcamento é uma deformação plástica da superfície sem perda de material que forma um sulco com o acúmulo de material deformado nas partes laterais e frontais

2 – Microcorte: Formação de micro cavacos com pequena deformação plástica local.

3 – Trincamento: É um tipo de dano que se restringe a materiais frágeis, ocorre quando as tensões impostas pelo sistema tribológico superam as tensões críticas para formação de trincas. Caracterizado pela formação de grandes partículas de abrasão.

Uma característica deste tipo de desgaste é a superfície com ranhuras, tipo arada. Um corpo duro e com ponta aguda age arando a superfície formando canais profundos, e neste caso a tensão ou forças agindo nesse sistema são baixas o suficiente para não causar a quebra deste corpo duro. É muito comum em mancais de deslizamento e equipamentos mineradores e agrícolas.

2.2 Transportadores de Correias

A ideia básica de funcionamento deste equipamento consiste em duas ou mais polias que movimentam uma superfície em que determinados materiais ou objetos, são transportados. Ela é muito usada em diversos segmentos, como por exemplo, na mineração.

Para Sacramento [6] os principais componentes da correia transportadora são: 1 – Correia; 2 – Tambores; 3- Guias laterais; 5 –Roletes; 6 –Freios; 7 – Chute; 8 – Estrutura; 9 – Drive. O Drive é o conjunto de acionamento do sistema, composto por um motor elétrico e um sistema de transmissão redutor de velocidade, geralmente as correias tem uma baixa velocidade. E, em alguns casos, possui um inversor de frequência a fim de minimizar os solavancos na partida do motor.

Portanto, é importante destacar que o funcionamento normal e diário de um transportador de correia se traduz em fenômenos tribológicos. O material sendo transportado já é um gerador de atrito e desgaste. Entretanto, a falta de inspeção e manutenção, poderá se traduzir em atrito e desgaste abrasivo. O desgaste abrasivo pode abreviar a vida útil de componentes e do próprio equipamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa é de cunho qualitativo por não utilizar ferramentas estatísticas para análise. As variáveis contempladas neste estudo são:

Correia – análise dos cortes laterais, cortes transversais, sulcamentos e rasgos;

Componentes –Instalação incorreta, o posicionamento incorreto, travamento, furos, armazenamento incorreto, manutenção inadequada, contaminação e quebra;

Estrutura do equipamento – tipos e características de desgastes incidentes no equipamento, por perda gradativa de materiais da superfície;

Transportador – Transbordo de produto e acúmulo de material;

Desgastes - Abrasivo por dois corpos; Abrasivo por três corpos; Microsulcamento; Microcorte; Trincamento; Arranhamento.

Os dados posteriores para comparação e análise foram obtidos através de uma pesquisa documental e software utilizado na empresa. Destaca-se na análise, o histórico do comportamento do maquinário; porém, o principal instrumento foi a observação direta e analítica das situações problema detectadas no equipamento.

Um dos meios de obtenção de dados foi a técnica *brainstorming* com os colaboradores da empresa. Essa técnica foi aplicada com pessoas que estão em

contato diário e direto com o processo. A coleta de dados, por meio de registros fotográficos da real situação do equipamento, na empresa, foi determinante para análise e caracterização do desgaste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O transportador de correia analisado é parte do sistema produtivo de uma usina de beneficiamento mineral no estado de Minas Gerais. O equipamento possui cerca de 140 metros com uma altura máxima de 9 metros. Esse transportador possui quase todos os componentes citados na revisão bibliográfica podendo ser destacados rolos, cavaletes, tambores, correia, contra-peso, raspadores, chutes de transferência, guias, tremonha, estrutura, sistema de partida e transmissão de torque e sistemas de segurança.

A tabela 2 ilustra e descreve alguns dos fenômenos tribológicos que ocorrem no processo de beneficiamento, em específico, no transportador de correia.

Tabela 2: Resultado da pesquisa sobre desgaste no transportador dezoito

Falha/problema	Dados Fotográficos	Caracterização do Desgaste	Tipo de Desgaste	Extensão/Frequência
1. Corrosão na estrutura gerando fragilidade e possível colapso estrutural.		Pontos de oxidação da estrutura de aço principalmente em locais de solda, devido a umidade local e respingos d'água decorrentes do processo de filtragem do minério de ferro.	Desgaste corrosivo.	Em pontos particulares na estrutura que perderam a proteção de pintura ou sofreram trabalhos a quente (solda e oxicorte). Facilmente localizado em locais úmidos.
2. Estrutura da tremonha raspando na correia transportadora.		Com uma estrutura inadequada de tremonha ou desgaste excessivo da proteção de borracha (guia lateral), a tremonha que é de aço toca a correia, promovendo linhas de ranhura na correia.	Desgaste abrasivo leve por dois corpos.	Os danos na correia aparecem na borda por toda a extensão podendo chegar a alma da correia (lona), é devido ao contato metal-borracha. Não é comum este tipo de falha, apenas em casos em que a inspeção nas guias laterais é negligenciada.

3. Rolos travados.		Devido a contaminação por minério, os rolos travam e com o movimento contínuo da correia os rolos são desgastados, ocorrendo perda gradativa de material da superfície.	Desgaste abrasivo severo por três corpos.	Muito comum em casos que há transbordo de material, contaminando e travando os rolos. A perda de material pode ser muito intensa, chegando ao eixo de rolamento dos rolos.
--------------------	---	---	---	--

Falha/problema	Dados fotográficos	Caracterização do desgaste	Tipo de Desgaste	Extensão e Frequência
4. Corte transversal na borda da correia.		A correia toca a estrutura dos rolos guias, causando cortes e rupturas na borda da correia.	Desgaste abrasivo por dois corpos.	Devido a presença de um sensor de desalinhamento não é uma falha comum, quando há se deve a falha no sensor ou layout de projeto do rolo guia que não foi adequadamente instalado. Gera cortes que podem comprometer a resistência da correia.
5. Posicionamento inadequado do rolo de carga no cavalete.		Funcionamento inadequado do cavalete, quando há falta do rolo de impacto ou carga, ficando com sua parte metálica cortante aparente. Quando a correia toca a estrutura perde lascas da superfície protetora.	Desgaste abrasivo por dois corpos.	O desgaste pode perfurar a correia e gerar a sua ruptura, inutilizando a correia causando a parada do equipamento. A ocorrência é de baixa frequência por ser facilmente detectável.

6. Furos no chute de transferência		<p>O minério de ferro transportado toca as laterais do chute de transferência causando furos com o passar das horas de trabalho. Na ilustração os furos foram restituídos com a solda de chapas de aço.</p>	Desgaste abrasivo (polimento).	<p>Ocorre em todos os chutes de transferência, é muito comum devido a ação continua do minério raspando nas laterais dos chutes para ser posicionado sobre a próxima correia.</p>
------------------------------------	---	---	--------------------------------	---

Falha/ problema	Dados Fotográficos	Caracterização do desgaste	Tipo de Desgaste	Extensão e frequência
7. Acúmulo de material nos rolos de carga.		<p>O minério que transborda da lateral da correia acumula sob os rolos de carga causando contaminação que pode gerar um desgaste prematuro ou travamento no rolo.</p>	Desgaste abrasivo (polimento).	<p>Ocorre quando há alguma falha anterior no transportador de correia, pode ser um rasgo na correia ou quebra das tremonhas que evitam transbordo do material. A frequência desse problema é baixa.</p>
8. Raspador danificando a correia transportadora.		<p>O acúmulo de material atrelado ao desgaste da parte plástica (polietileno) do raspador faz com que esse raspe a parte metálica com pressão acima do recomendado na correia do transportador, o minério acumulado não permite que o raspador tenha flexibilidade necessária.</p>	Desgaste abrasivo a alta tensão.	<p>Desgaste representado em forma de arranhamento profundo no sentido do deslizamento. Possui frequência de ocorrência média, a falta de inspeção e limpeza gera esta falha.</p>

<p>9. Guia lateral apresentando defeito de posicionamento.</p>		<p>A borda da guia lateral de borracha encontrava-se fora do posicionamento correto, estava desgastando a borda da correia e forçando a desalinhar para o lado oposto.</p>	<p>Desgaste abrasivo por três corpos</p>	<p>Este desgaste apresentou pequenas estrias em toda lateral da correia e em alguns pontos pequenas rupturas da borda. Esta falha na guia lateral é incomum.</p>
--	---	--	--	--

A partir das considerações relativas aos fenômenos tribológicos ocorridos no transportador de correias, ilustrados e descritos na tabela 2, é possível destacar que, a medição de variáveis como: pressão, nível de contaminação por transbordamento de produto, volume do produto transportado, qualidade dos revestimentos de componentes, influenciam de forma direta na ocorrência de desgaste do tipo abrasivo por três corpos e abrasivo por dois corpos. Cabe destacar que, o posicionamento inadequado de componentes; falta de inspeção nos raspadores, rolos e chutes, podem contribuir para a ocorrência desses fenômenos tribológicos e ocasionar paradas não programadas.

5 CONCLUSÃO

Com base na análise realizada no processo de beneficiamento, no sistema produtivo de mineração, com ênfase no transportador de correias, foi possível concluir que, o planejamento e controle da manutenção, deve contemplar inspeções direcionadas para o atrito e consequente desgastes nos componentes.

É importante ressaltar que, se realizado um trabalho de gestão de ativos a partir de um plano de manutenção bem elaborado, o aumento de produtividade será facilmente percebido. Dessa forma, também, uma redução expressiva no custo operacional em função da redução das trocas de componentes e sobressalentes com falhas advindas de desgaste.

REFERÊNCIAS

- 1 Hutchings, I. M. Tribology Friction and Wear of Engineering Materials. 1º Edição, Londres, 1992.
- 2 Stoeterau. R. L. Tribologia – EMC 5315 – Universidade Federal de Santa Catarina, 2004
- 3 Pascoali. S. Introdução ao Desgaste Abrasivo. Florianópolis, SC, 2004.
- 4 Budinski.K. G. Surface Engineering for Wear Resistance. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.
- 5 Castro. C. A. F. Resistência ao Desgaste Abrasivo das Sapatas de Trator de Esteira após o Processo de Recuperação. UTFPR, Curitiba, 2010.
- 6 Sacramento, R. C. F. Transportadores Contínuos para Graneis Sólidos. Capítulos 5 e 7. UFBA, 2004
- 7 Swinderman, R.T; Marti, A.D; Goldbeck, L.J; Marshal, D; Strelbel, M.G. Foundation – Guia Prático para um Controle mais Limpo, Seguro e Produtivo de Pó e Material. 4º edição, Martin Engineering Company, Neponset Illinois, EUA, 2009.