

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS - FMEA EM UM TRANSPORTADOR DE CORREIA

Hélio Augusto Goulart Diniz, heliougmg@gmail.com¹
Douglas Coelho Dutra, douglasdutra@gmail.com¹
Nícolas Cristiano Gomes de Oliveira, ncristiano87@hotmail.com²
Gilberto Gonçalves Braga, gilbertobraga01@hotmail.com²
Fabrício José Pacheco Pujatti, pujatti@demec.ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG
CEP 31270-901 – Fone +55 (31) 3409-3526

²Faculdade Pitágoras – Unidade Contagem - Rua Tom Jobim, 2890 - Cidade Industrial - Contagem – MG
CEP 32.210-190 – Fone +55 (31) 3232-9000

Resumo: A disponibilidade dos equipamentos de um parque industrial é de grande importância para uma empresa assegurar um nível satisfatório de produtividade. Se os equipamentos industriais do setor sofrerem constantes interrupções pela equipe de produção ou equipe de manutenção, a disponibilidade do setor estará abaixo do esperado, comprometendo assim a produtividade da empresa. É neste contexto que o presente trabalho foi desenvolvido, abordando os aspectos de operação e manutenção do setor de uma unidade britagem de uma mineradora. Problemas comuns de manutenção e de operação foram analisados de forma crítica, assim como soluções foram discutidas para evitar ou reduzir a frequência de reincidência dos mesmos. Fez-se uma análise técnica dos principais problemas de manutenção e de operação do setor, baseando-se nos impactos sobre a disponibilidade dos equipamentos e a produtividade do setor. Identificou-se que todos os problemas discutidos recaíam sobre o transportador de correia, assim este equipamento foi o principal objeto de estudo deste trabalho. Aplicou-se a ferramenta FMEA (Failure Mode and Effect Analysis - Análise dos Modos e Efeitos das Falhas) sobre o transportador de correia para análise de suas falhas. Concluiu-se que três dos quinze modos de falhas do transportador de correia contribuem para 32 % do risco de interrupção do equipamento. Esses três modos de falhas foram organizados em forma prioritária de atuação com relação ao risco de parada do equipamento que cada um proporciona e também ao custo envolvido na erradicação de cada modo de falha. Assim foi demonstrado a funcionalidade e importância dessa análise por FMEA no que diz respeito à tomada de decisão para evitar a falha baseada em risco e em custo, proporcionando previsibilidade da disponibilidade desejada para os equipamentos e consequente produtividade satisfatória da empresa.

Palavras-chave: britagem, manutenção, equipamentos, FMEA, transportador de correia

Código de aceite: CON-2016-0078

1. INTRODUÇÃO

A previsibilidade do funcionamento de equipamentos em um setor industrial garante que esses equipamentos operem segundo a uma disponibilidade desejada e definida pelos responsáveis pela manutenção e operação, proporcionando-se assim que a meta de produtividade seja alcançada por uma empresa do ramo industrial.

Um importante fator operacional em uma unidade de britagem são as paradas para manutenção. Paradas inesperadas de manutenção por falhas de equipamentos e intervenções pela operação geram redução de confiabilidade do processo e perdas de produtividade. Na unidade de britagem analisada, intervenções pela equipe de operação ocorrem, por exemplo, quando o minério entra no circuito da britagem acima da especificação de umidade e granulometria ou quando traz consigo material não britável. Já para intervenções para manutenção, como por exemplo, a manutenção emergencial em um transportador de correias que teve um rasgo na correia, ou uma falha neste equipamento por falta de uma análise mais apurada das condições de vida útil do mesmo. Além do mais, no que se referem às manutenções nessa uma unidade de britagem, são comuns manutenções corretivas emergenciais, manutenções preventivas e manutenções corretivas baseadas em análise preditivas.

Uma vez que falhas de equipamentos e falhas de operação geram perdas de produtividade para o setor, torna-se importante realizar um processo investigativo para identificar as causas e consequências de tais eventos. A Análise dos Modos e Efeitos das Falhas - FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) foi escolhida neste trabalho por ser considerada de típica aplicação na área de manutenção. Essa ferramenta é uma metodologia para análise de falhas usada para encontrar as causas e efeitos das falhas possíveis de ocorrer em um equipamento. A partir desse estudo propõem-se soluções para atacar os principais modos de falha de um equipamento baseados nos riscos e nos custos envolvidos. A aplicabilidade da análise de falhas na unidade de britagem vai desde estudo das intervenções pela operação ao estudo das falhas que originam as manutenções corretivas emergenciais.

Considerando os fatos expostos, esse trabalho visa analisar as intervenções da equipe de operação, as manutenções realizadas em equipamentos e aplicação da ferramenta FMEA em um transportador de correia de uma unidade de britagem de mineração. Nessas análises, propõem-se soluções para evitar a reincidência dos problemas e busca apresentar as dificuldades de operação e manutenção inerentes ao setor de britagem de uma mineradora. Na análise por FMEA, identificaram-se os principais modos de falhas do equipamento estudado, e principalmente as falhas que provocam maiores riscos de interrupção do equipamento. Realizou-se também um estudo a respeito do risco da parada do equipamento e do custo envolvido para erradicar determinados modos de falhas.

2. PROCESSO DE BRITAGEM

O processo de britagem consiste basicamente em fragmentação e peneiramento do minério. As etapas são apresentadas de forma simplificada e contextualizada à realidade de uma unidade de britagem de uma determinada mineradora em análise neste trabalho.

Segundo Chaves e Peres (2003), a fragmentação mineral é o conjunto de operações, que consiste na redução das dimensões físicas de um dado conjunto de blocos ou partículas de minério, por meio de ação mecânica externa, de forma controlada. A redução de tamanho do minério apresenta objetivos distintos, os quais podem ser classificados em dois grandes grupos. No primeiro, o objetivo é atingir as especificações granulométricas exigidas por operações subsequentes presentes em um processo de tratamento de bem mineral. No segundo, objetivo é atingir especificação granulométrica exigida para comercialização de produtos. No caso dessa mineradora, após o minério ser britado ele é encaminhado a uma planta de beneficiamento mineral, ou seja, o objetivo aqui recai sobre o primeiro grupo.

2.1. Britadores, Peneiras e Grelhas

De acordo com Chaves e Peres (2003) os britadores caracterizam-se por apresentar como mecanismo preponderante de fragmentação a compressão, o qual ocorre através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície móvel contra outra fixa. Na unidade de britagem analisada há dois tipos de britadores, um do tipo mandíbulas e dois do tipo cônicos.

Em consulta a Chaves e Peres (2003), o peneiramento pode ser definido como uma operação que consiste na retirada de finos do material que irá alimentar um equipamento de fragmentação. Na operação de peneiramento ocorre a separação do material em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. No caso dessa unidade de britagem, os gabaritos podem ser grelhas vibratórias de barras paralelas ou telas de malhas quadradas de uma peneira vibratória. Na unidade de britagem analisada existem duas peneiras vibratórias inclinadas e uma grelha vibratória.

2.2. Outros Equipamentos do Processo

Os demais equipamentos importantes para a compreensão do processo produtivo da unidade de britagem são: transportador de correia, extrator de sucatas e detector de metais. O equipamento responsável pelo transporte do minério na linha de britagem é o transportador de correia, como o exemplo apresentado na Figura 1.

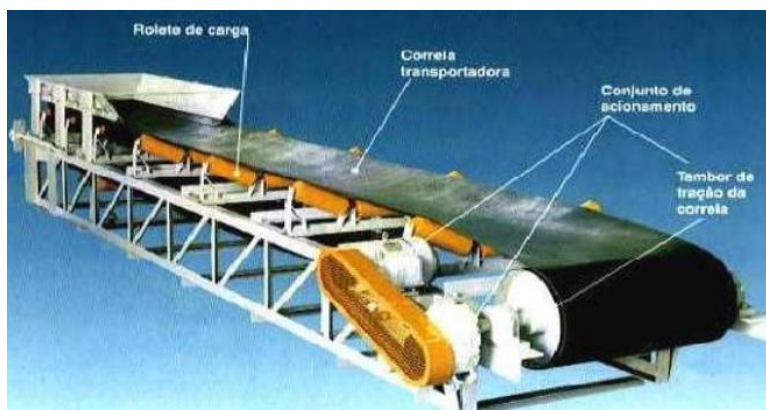


Figura 1. Transportador de correia. Acervo técnico da unidade de britagem analisada (2015).

O extrator de sucatas auxilia a equipe de operação ao retirar automaticamente material ferroso não britável dos transportadores de correia quando em operação, impedindo que esse material siga em frente e possa paralisar o circuito (fato que pode provocar um rasgo de correia). Há um equipamento semelhante a este último, denominado de detector de metais, no qual ele apenas atrai o material à sua área magnetizada e o mesmo deve ser removido pelo operador após acúmulo de material ferroso.

2.3. Fluxograma do Processo

Definidos os principais conceitos envolvidos referentes a uma unidade de britagem e descritos os equipamentos da unidade, é apresentado na Figura 2 o fluxograma simplificado do processo. Nota-se que há três linhas de britagem: a primária, secundária e terciária.

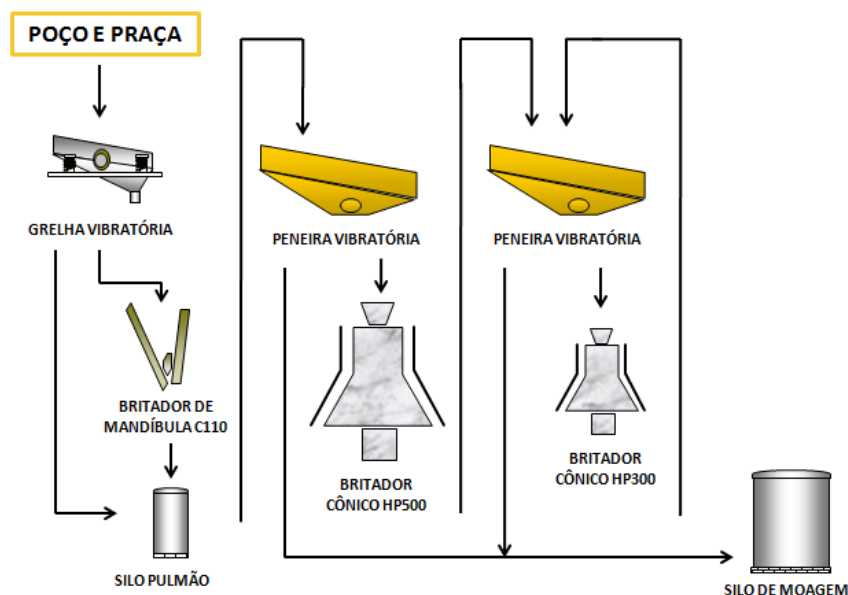


Figura 2. Fluxograma simplificado do processo. Acervo técnico da unidade de britagem analisada (2015).

Na britagem primária, o minério vem do poço (mina subterrânea) ou da praça de estocagem (cujo minério é oriundo de outra mina da empresa). Ele é direcionado à grelha vibratória, aonde o material passante vai para o silo pulmão (reservatório de minério com granulometria reduzida, porém ainda grosseira) e o não passante vai para o britador de mandíbulas, sofrendo processo de fragmentação. Esse material não passante, depois de britado é encaminhado ao mesmo silo. O silo pulmão tem a função de reserva de material do sistema de britagem secundária e terciária quando há falta de minério no poço e na praça. Na britagem secundária, o material armazenado no silo pulmão é encaminhado à primeira peneira vibratória, o passante vai para o silo de moagem (reservatório de minério com granulometria reduzida, este já é o produto final) e o não passante vai para o primeiro britador cônico. Após este material ser britado é encaminhado a britagem terciária. Na britagem terciária, o minério é direcionado à segunda peneira vibratória, o passante vai para o silo de moagem e o não passante vai para o segundo britador. Após esse material ser britado, ele volta para a britagem terciária. Percebe-se que na britagem primária e secundária o circuito é aberto, ou seja, o minério passa por lá uma única vez, já na britagem terciária o circuito é fechado e o material recircula nessa etapa até atender a granulometria especificada e ir para o silo de moagem. O silo de moagem é o local para onde se destina o produto final da britagem. O minério que chega à unidade de britagem com granulometria média de 150 mm. O produto final britado apresenta granulometria de 9,5 mm. Do silo de moagem em diante, trata-se do processo de beneficiamento de minério, cujo tema não é abordado nesse trabalho.

3. TIPOS DE MANUTENÇÕES ANALISADAS

A atividade de manutenção precisa deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz, ou seja, não basta apenas, reparar o equipamento ou instalação o mais rápido possível, mas, principalmente, mantê-lo disponível para a operação, evitar nova falha e reduzir os riscos de uma parada de produção não planejada. A manutenção passou a ser vista como a mola propulsora de uma verdadeira revolução que pode levar uma empresa a destacar-se com diferenciais competitivos, através do aumento da confiabilidade operacional dos ativos, redução dos custos intrínsecos, redução de desperdícios, utilização racional dos recursos disponíveis e aumento das taxas de produção, dentre outros.

As manutenções que ocorrem nessa unidade de britagem e nas quais alguns exemplos e estudos de casos são desenvolvidos nesse texto foram analisadas. Trata-se de manutenção corretiva não planejada, manutenção preventiva e manutenção corretiva planejada baseada em análise preditiva.

3.1. Manutenção Corretiva não Planejada

Segundo Pinto e Xavier (2013), a manutenção corretiva não planejada caracteriza-se pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Não há tempo para preparação do serviço ou não se faz planejamento, daí o seu nome. Normalmente esse tipo de manutenção implica altos custos, pois a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção, além de poder afetar a segurança e o meio ambiente.

3.2. Manutenção Preventiva

De acordo Pinto e Xavier (2013), a manutenção preditiva efetuada em intervalos predeterminados destinada a evitar e prevenir a ocorrência de falhas e a degradação do funcionamento de um ativo. Normalmente é aplicada quando existem aspectos relacionados com a segurança pessoal, ambiental ou da instalação que tornam mandatória a intervenção para substituição de componentes, por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional, dentre outros exemplos.

3.3. Manutenção Corretiva Planejada Baseada em Preditiva

Em consulta a Pinto e Xavier (2013), a manutenção corretiva planejada baseada em preditiva caracteriza-se pela ação de correção do desempenho menor do que o esperado baseado no acompanhamento dos parâmetros de condição e diagnóstico levados a efeito pela preditiva, detectiva ou inspeção. Um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado e será sempre de melhor qualidade.

4. DISPONIBILIDADE E PRODUTIVIDADE DA BRITAGEM

Pode-se definir a disponibilidade como a relação entre o tempo em que um equipamento ou instalação industrial está em condições mecânicas, elétricas, eletrônicas e civis adequadas para realizar a operação e o total de horas calendário previstas.

A unidade de britagem está programada para operar 24 horas por dia. Porém devido às interrupções pela operação e parada para as manutenções, acaba que sua disponibilidade de operação se reduz consideravelmente. Dados de contagem de tempo de interrupções pela manutenção e pela operação do período correspondente ao primeiro semestre de 2015 foram analisados e são apresentados na Tabela 1, na qual traz a estratificação dessas interrupções e apresenta a indisponibilidade resultante das interrupções pela operação e pelas paradas de manutenção.

Tabela 1. Interrupções da Produção. Autores (2015).

Interrupção da produção em relação ao tempo (%)				
Manutenção		Operação		
Preventiva e corretiva planejada	Corretiva não planejada	Entupimento	Ajustes	Falta de minério
9,5	8,5	4,1	8,6	4,3

Percebe-se que as paradas pela manutenção do tipo corretiva não planejada representam o menor percentual, quando comparada a preventiva e corretiva planejada. É importante destacar que a manutenção corretiva planejada passa por uma análise preditiva em seu desenvolvimento e que as interrupções por manutenção corretiva não planejada são as que mais impactam na produtividade. Já para as interrupções pela operação, tem-se o problema de entupimento, falta de minério tanto do poço quanto da praça de estocagem (problema que faz parte da rotina de trabalho da unidade, pois depende do envio do minério pelo poço e pelo transporte por caminhões do minério de outra mina da empresa até a praça) e por último e mais representativo, os ajustes. Esses ajustes englobam as paradas do silo pulmão vazio (reserva das britagens secundária e terciária), atuação dos extratores de sucatas que precisam de suporte para não permitir que material não britável rasgue as correias, limpeza de braços dos britadores cônicos para retirar material não britável e não ferromagnético, regulagens de equipamentos e liberação da sala de controle, dentre outros.

A Tabela 2 apresenta de forma geral a disponibilidade do tempo para a manutenção, para as intervenções pela operação e para a produção de britagem de minério. Pela Tabela 2, vê-se que a disponibilidade para a produção no período avaliado foi de 65%. Nesse período também foi registrado uma produção média de 267 tonelada/hora, levando em consideração os dados da indisponibilidade de produção. A produção mensal é de 125.000 tonelada/mês.

Tabela 2. Disponibilidade Global. Autores (2015).

Disponibilidade global em relação ao tempo (%)		
Manutenção	Operação	Produção
18,0	17,0	65,0

Enfatizando ainda mais os dados, a previsão de operação da britagem que era de 24 horas, se reduz a 65% desse tempo, ou seja, 15,6 horas efetivamente de produção. O restante do tempo é gasto, praticamente de forma igual, entre manutenções e intervenções de operação.

5. ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS (FMEA)

Segundo Helman e Andery (1995), a FMEA pode ser definida como um método de análise de produtos ou processos usada para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema, mediante um raciocínio basicamente dedutivo. É um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa.

Tem como objetivo, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, evitar que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo, buscando assim, a confiabilidade dos mesmos. Consiste em identificar todos os modos de falha em potencial dentro de um produto ou processo, todas as possibilidades de falhas catastróficas e críticas, de tal maneira que elas possam ser eliminadas ou minimizadas através da correção do projeto do produto ou processo, o mais cedo possível.

No caso da unidade de britagem analisada, aplica-se o FMEA de processo, uma vez que a instalação já está em operação há anos e o objetivo da ferramenta recai em evitar ou reduzir a ocorrência de falhas durante o processo de operação. Listam-se os passos para elaboração e implementação de uma FMEA: levantamento dos dados do sistema; definição do Item e da função; levantamento dos modos de falha; efeitos e consequências dos modos de falha; causa da falha; avaliação da gravidade da falha; ocorrência da falha; detecção da falha; cálculo do Número de Prioridade Risco RPN (*Risk Priority Number*); ações recomendadas; responsável e prazo; resultado das ações.

A escala de avaliação da gravidade da falha vai de 1 a 10, sendo desde 1 para falha imperceptível até 10 para falha catastrófica. A escala de ocorrência vai de 1 a 10, sendo 1 para falha muito remota de acontecer até 10 para falha com chance muito alta de ocorrer. A escala de detecção vai de 1 a 10, sendo desde 1 para falha com alta probabilidade de identificação até 10 para falha com chance remota de identificação. O RPN indica o risco da falha para o produto e processo. É calculado através do produto dos índices de gravidade, ocorrência e detecção. Sendo assim seu valor pode variar de 1 à 1000. Os modos de falha com mais alto RPN devem ter prioridade em sua intervenção.

6. ANÁLISES DE INTERVENÇÕES

6.1. Análise de Intervenções pela Operação

Foram apresentados alguns problemas nos quais há intervenção por parte da equipe de operação, correspondendo a 17% da indisponibilidade produtiva da britagem no período avaliado, conforme a Tabela 2.

A Figura 3 apresenta o registro do problema de entupimento por excesso de umidade do minério vindo do poço e o problema de entupimento do britador de mandíbulas por matacões. Os matacões também podem travar a correia do transportador em algum ponto ao se deparar com algum obstáculo (batente) na parte superior, ou mesmo nas próprias laterais se tiver dimensões superiores a largura do transportador de correia.

A umidade estabelecida do minério é de 3%, porém nessa situação o percentual de umidade está bem acima. Essa situação causa a interrupção do transportador de correia por sobrecarga de peso, afetando mecanicamente o conjunto de acionamento do transportador. O transbordamento dessa lama (minério altamente úmido) contribui para sujeira do local, criando dificuldade para o acesso da área. A contaminação de outros componentes do transportador de correia, como por exemplo, os roletes, acelerando o desgaste dos mesmos. Caso esse minério prossiga, causa entupimento na grelha ou no britador primário, e se ainda passar, causa maiores danos ao ser armazenado no silo pulmão nessa forma úmida. Do silo pulmão para as britagens secundária e terciária, o minério com excesso de umidade entope as telas das peneiras vibratórias, reduzindo sua capacidade de peneiramento e fazendo o material circular por maior tempo.



**Figura 3. Entupimento por excesso de umidade (A) e entupimento por matacões (B).
Acervo técnico da unidade de britagem analisada (2015).**

A Figura 3 também apresenta o problema de entupimento do britador de mandíbulas, porém causado por matacões. O tamanho médio do minério que chega a britagem é de 150 mm, mas o minério oriundo da praça pode possuir granulometria superior, como neste caso. Esse problema causa a parada da linha de britagem primária por várias horas (em torno de 6 horas).

Um fato inerente à rotina da britagem é a presença de material não britável junto ao minério a ser britado. Há equipamentos como o extrator de sucatas e detector de metais responsáveis por retirar o material ferromagnético não britável dos transportadores de correia. A não operação desses equipamentos seja pelo extrator de sucatas estar desativado pela operação, ou então o detector de metais esteja saturado de materiais ferromagnéticos e não houve a assistência da operação para limpeza do mesmo, pode ocasionar rasgos nas correias e a linha de britagem ficar parada por várias horas até uma emenda ser feita nas mesmas. Esse problema também ocorre quando lamelas do minério, ou seja, em pedras formato de lâminas entram no circuito. Tanto o material não metálico quanto o minério em lamelas prendem-se nas paredes do transportador e em contato com a correia atuam como uma lâmina, rasgando-a. A Figura 4 (A) apresenta o registro de um material ferromagnético e a Figura 4 (B) lamelas de minério, ambos os casos causaram rasgo nas correias nas quais os transportavam.



**Figura 4. Rasgo de correia por material metálico (A) e por lamela do minério (B).
Acervo técnico da unidade de britagem analisada (2015).**

Propõe-se a identificação de medidas para correções dos problemas supracitados com o objetivo de reduzir o tempo de indisponibilidade causa por intervenções da operação e prejuízos pelos gastos para reparos de equipamentos danificados.

6.2. Análise de Intervenções pela Manutenção

Pela Tabela 2, percebe-se que 18% da indisponibilidade produtiva da unidade de britagem no período avaliado é devido as manutenções. Desse percentual, praticamente a metade é devido a corretivas emergenciais. Foram avaliados os impactos causados pelas falhas de equipamentos.

Como contextualizado na parte de intervenções pela operação, o rasgo de correia paralisa o transportador de correia e aquele setor do circuito de britagem fica inoperante. Dependendo do tamanho do estrago à correia (maior que 50 cm), o reparo só poderá ser feito por uma empresa terceirizada. Recai no caso de um reparo emergencial, no qual até o serviço ser contratado e efetuado, várias horas de produção se perderam (em torno de 6 horas) dependendo da criticidade do setor na qual aquela correia faz parte.

Também foi contextualizado o problema gerado por matacos (fragmentos de minério com dimensões acima do limite de granulometria definido pela unidade) que entram no circuito de britagem. Além da perda produtiva causada pelo tempo em que a equipe de operação gasta para a retirada dos mesmos do circuito de britagem, danos à estrutura física dos transportadores de correia podem ocorrer devido ao peso e ao impacto proporcionado por eles ao entrarem no circuito. Pode haver quebras de cavaletes e longarinas que compõe a estrutura física do transportador, danos irreparáveis aos roletes que suportam e permitem o movimento da correia, exigindo sua substituição. Dependendo das proporções dos danos (se houver interrupção do equipamento), aquele setor do transportador precisa ser reparado para a correia voltar a operar. A Figura 5 apresenta a estrutura de sustentação do transportador de correia e um rolete de suporte danificado pelos impactos das quedas de matacões na correia.

Identificam-se neste trabalho as medidas para correções dos problemas supracitados com o objetivo de reduzir o tempo de indisponibilidade ocasionada por manutenções não programadas e prejuízos pelos gastos para reparos de equipamentos danificados.

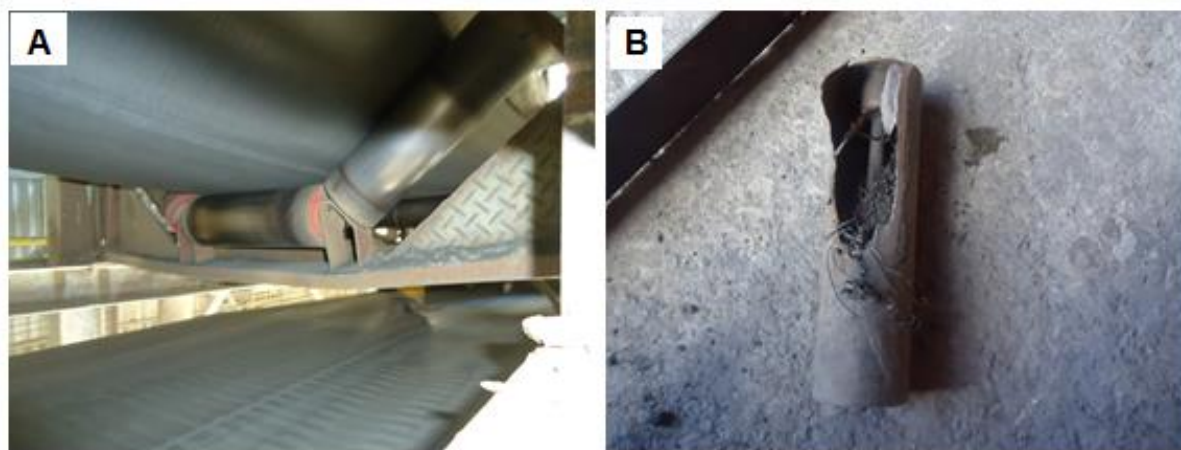


Figura 5: Estrutura física do transportador e sustentação da correia (A) e rolete de transportador de correia danificado (B). Acervo técnico da unidade de britagem analisada (2015).

6.3. Análise da FMEA

De todos os problemas de operação e manutenção descritos e analisados – entupimento por excesso de umidade ou pela presença de matacões no minério, rasgo de correia por material não britável ou minério em formato de lamela, e danificação à estrutura do transportador pelo impacto dos matacões com os componentes do equipamento – todos eles recaem sobre o transportador de correia. Por esse motivo uma FMEA foi aplicada sobre esse equipamento. Pretende-se identificar os subsistemas, funções e falhas funcionais dos principais componentes do equipamento. Os principais modos de falhas e seus efeitos sobre o sistema, assim como a determinação dos valores para os índices de gravidade, ocorrência e detecção também foram identificados. Os valores numéricos dos índices proporcionaram o cálculo do RPN (risco da falha para o produto e processo) e a sugestões de ações de corretivas.

Após todas as informações serem identificadas e organizadas, além de todos os cálculos dos RPN efetuados, os modos de falhas com maiores valores de RPN foram analisados com relação ao custo. Pretendeu-se dessa forma avaliar o custo financeiro em relação à tomada de decisão para evitar que o modo de falha aconteça.

Com o levantamento dos índices gravidade e ocorrência, propôs-se a montagem de um mapa de risco no qual classifica os modos de falha conforme a ação recomendada em escala de prioridade. Além disso, propôs-se também a construção do diagrama de Pareto para relacionar os valores de todos os RPN dos modos de falhas e verificar qual a porcentagem do total que os maiores RPN representam.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Soluções para as Intervenções pela Operação e pela Manutenção

Correções das falhas típicas de operação e manutenção descritas foram propostas. Nota-se a importância de adoção de medidas para erradicar esses problemas corriqueiros que representam por volta de 17% da indisponibilidade do tempo produtivo da unidade para o caso da operação e 18% para o caso da manutenção.

O problema do excesso de umidade do minério é resolvido quando o mesmo é encaminhado à praça para secar sob a ação do tempo, ou então passar por um controle de umidade pela equipe responsável do poço antes de subir no estado de elevada umidade.

A solução imediata para o problema de entupimentos causados pelos matacões baseia-se na retirada dos mesmos por pinça hidráulica caso eles tenham entrado no circuito. Porém esta não é uma solução definitiva, pois depende da vigilância da equipe de operação. O problema é resolvido definitivamente com a disponibilização de um rompedor hidráulico na área da praça para desfazer os matacões antes que eles entrem na linha de britagem. As recomendações supracitadas para eliminação dos matacões são de relevância para se evitar danos às estruturas dos transportadores e roletes de suporte e movimentação da correia, pois os reparos de manutenção necessários para recuperar o funcionamento do transportador são do tipo manutenções do tipo emergenciais, ou seja, indesejáveis.

Com relação ao problema de rasgo de correias por material não britável, necessita-se a substituição do detector de metais, que requer a presença da operação para retirar o material capturado, por extrator de sucatas, pois este possui um sistema dinâmico de funcionamento e remove automaticamente o metal capturado. É importante que a operação mantenha esses equipamentos atuando quando o transportador estiver funcionando, ou no caso de manutenção nos mesmos, o movimento da correia transportadora seja interrompido até eles entrem em operação novamente. Quanto aos rasgos de correia consequentes do minério em lamelas, a operação deve se atentar a para esse formato mineral, removendo as pedras menores ou rompendo as maiores com auxílio de um rompedor hidráulico após serem desviadas para a praça de minério.

As recomendações supracitadas, quanto aos equipamentos auxiliares como extratores de sucatas e atenção da equipe de operação, são de alta relevância para evitar a intervenção da equipe de manutenção, pois esses tipos de reparos classificam-se como manutenções do tipo emergenciais.

7.2. Resultados da FMEA

A análise dos modos e efeitos de falhas foi realizada em um transportador de correia. As informações foram dispostas na tabela apresentada pela Figura 6.

SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA	EFEITOS DA FALHA	ÍNDICE DE GRAVIDADE	ÍNDICE DE OCORRÊNCIA	ÍNDICE DE DETECÇÃO	RPN	AÇÕES (RCM)
Transportador de Correia	Acionamento	Acionar o transportador de correia com velocidade pré-determinada	Não aciona o transportador de correia com velocidade pré-determinada	1	Motor elétrico queimado	Parada da correia	10	3	3	90	Manutenção corretiva
				2	Motor elétrico sem energia	Parada da correia	10	4	3	120	Fiscalizar o contrato com a concessionária de energia
				3	Motor elétrico sobrecarregado	Pode provocar parada da correia e redução de vida útil do motor	9	7	5	315	Manutenção preditiva
				4	Redutor com vibração por desalinhamento com motor elétrico	Redução de vida útil dos componentes	7	6	5	210	Manutenção preditiva e programar manutenção corretiva
				5	Redutor com elementos de máquinas danificados	Pode provocar parada da correia e danos aos outros componentes	9	5	7	315	Manutenção preditiva e programar manutenção corretiva
		Fazer o atrito e contato entre o tambor de acionamento e a correia transportadora	Não faz o atrito e contato entre o tambor de acionamento e a correia	6	Revestimento do tambor solto ou desgastado	Desgaste acelerado e risco de rasgo na correia	8	6	4	192	Manutenção preventiva
				7	Danos nos mancais de rolamento	Pode provocar parada da correia e danos aos outros componentes	9	5	5	225	Manutenção detectiva
	Raspador	Fazer limpeza da correia	Não limpa a correia	8	Lâmina desgastada ou danificada	Desgaste acelerado dos tambores e roletes	8	7	2	112	Manutenção preventiva
	Tensionador de correia	Tensionar a correia	Não tensiona a correia	9	Danos nos tambores e nos carros tensionadores	Parada da correia por sobrecarga	10	4	4	160	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
	Correia transportadora	Conduzir o minério do chute de alimentação até o chute de descarga	Não conduz o minério até o chute de descarga	10	Cavaletes e roletes danificados por quedas de matações	Pode provocar parada da correia e danos a mesma	8	8	3	192	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
				11	Correia rasgada por material não britável	Vazamento de minério e redução da vida útil	10	8	4	320	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
				12	Correia travada por material com excesso de umidade	Parada da correia por sobrecarga	10	7	2	140	Manutenção detectiva e corretiva. Limpeza pela operação
				13	Correia desalinhada	Pode provocar parada da correia e danos a mesma	9	7	4	252	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
	Estrutura	Sustentar o transportador	Não sustenta o transportador	14	Danos na estrutura metálica treliçada por corrosão	Pode provocar parada da correia e danos a mesma	9	5	4	180	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva
	Chutes de alimentação	Receber e alimentar a correia com minério proveniente de outro equipamento	Não recebe e alimenta a correia com minério proveniente de outro equipamento	15	Danos ao chute e seus acessórios de vedação	Vazamento de minério e redução da vida útil de outros componentes por contaminação	7	8	3	168	Manutenção detectiva e programar manutenção corretiva

Figura 6. FMEA do transportador de correia. Autores (2015).

A análise dos resultados da FMEA apresenta que dos quinze modos de falhas levantados dos subsistemas que compõem o transportador de correia, três deles tiveram o RPN acima de 300 conforme apresentado pelo gráfico da Figura 7 (A). Adotando esse referencial como base para tomada de decisão prioritária para intervenção, devem-se aplicar ações para eliminar esses três modos de falhas (MF), são eles: MF3: motor elétrico sobrecarregado, MF5: Redutor com elementos de máquinas danificados e MF11: Correia rasgada por material não britável. Na Figura 7 (B) é apresentado também o mapa de risco no qual classifica os modos de falha conforme a ação recomendada em escala de prioridade em relação à gravidade e ocorrência dos mesmos.

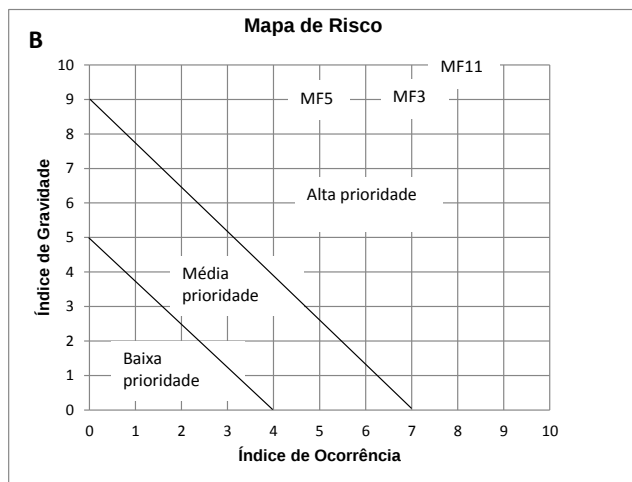
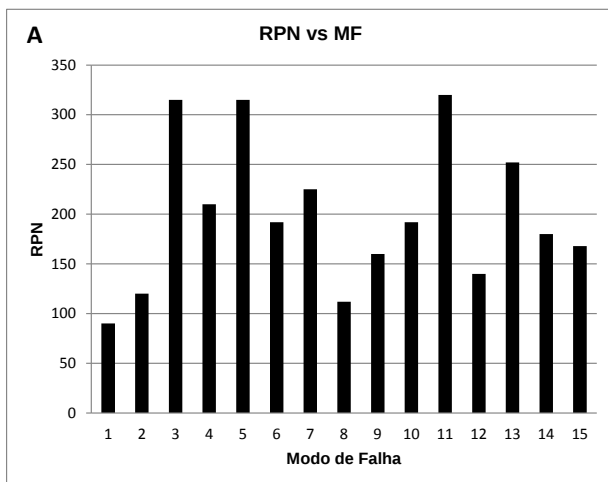


Figura 7. Gráfico RPN vs MF (A) e Mapa de Risco (B). Autores (2015).

No mapa de risco, todos os 15 modos de falhas estão na região de alta prioridade por se tratar de causas comuns e que já aconteceram na unidade e que possuem elevada gravidade, pois se esses modos de falha podem parar o equipamento ou ocasionar danos graves aos seus componentes. Logo, apenas os três modos de falhas com maiores RPN foram indicados no mapa. Nota-se que no cálculo do RPN é levado em consideração o índice de detecção que diferencia os modos de falhas ao serem classificados segundo o mapa de risco que não considera esse índice.

A Figura 8 (A) apresenta o gráfico custo por RPN para os três modos de falhas com maiores valores de RPN. Por sua vez, a Figura 8 (B) apresenta o diagrama de Pareto, que relaciona os valores de RPN de forma decrescente e o percentual acumulado do RPN para todos os modos de falhas analisados.

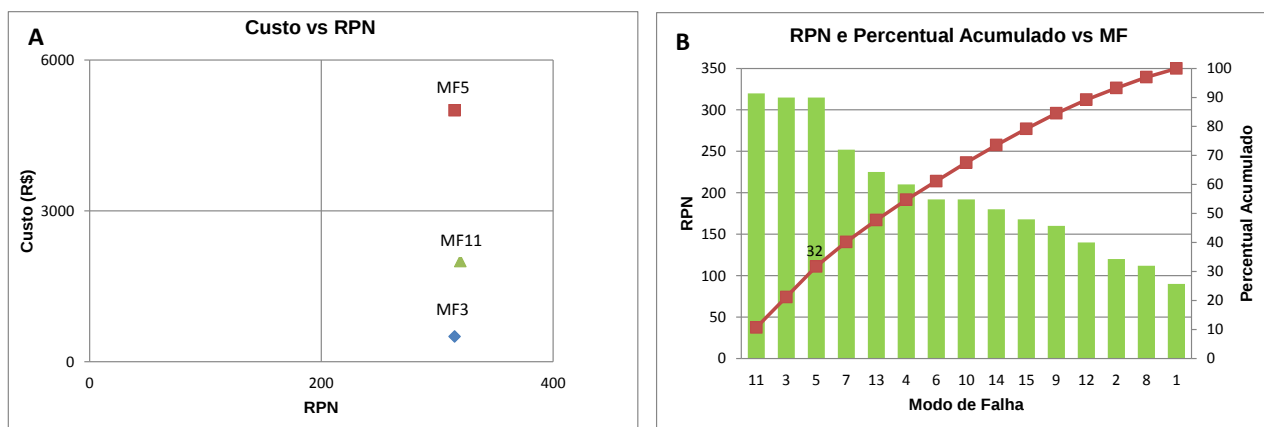


Figura 8. Gráfico Custo vs RPN (A) e RPN e Diagrama de Pareto (B). Autores (2015).

Pela análise do gráfico da Figura 8 (A) percebe-se que para neutralizar o modo de falha 3 (MF3), gasta-se pouco em relação aos demais. Isso porque para monitorar a sobrecarga do motor elétrico basta aplicar técnica preditiva (monitoramento da corrente consumida do motor, por exemplo) relativamente mais barata comparada aos custos dos outros dois modos de falhas analisados a seguir. O modo de falha 5 (MF5) possui o maior custo dos três, pois será necessário monitorar o equipamento por técnica preditiva (análise de vibração, por exemplo) e caso seja detectado o problema é necessário a troca preventiva do redutor por outro que tenha no estoque, já que a empresa não faz manutenção do mesmo, exigindo assim enviar o equipamento para fora da empresa para reparo. Já o modo de falha 11 (MF11) possui um custo intermediário, pois é necessário um esforço de detecção pela operação em remover material não britável da correia que tenha passado pelo extrator de sucatas e programar manutenção corretiva para recuperar a correia caso tenha sido rasgada, envolvendo serviço terceirizado de médio custo. Os custos avaliados são apenas sugestivos e a título de exemplificação. Conclui-se que pela análise de FMEA é prioritário realizar as ações recomendadas para evitar o acontecimento dos modos de falhas MF3 e MF11 e tendo maior recurso financeiro atacar o modo de falha MF5, pois envolve um custo maior.

Além disso, na análise do diagrama de Pareto apresentado pela Figura 8 (B) percebe-se que para os três modos de falhas abordados anteriormente, a sua somatória de risco corresponde a 32% do risco total. Conclui-se que atacando 20% dos modos de falhas, isto é, 3 modos de falhas de 15 do total, está reduzindo mais de 30% do risco de falha do equipamento.

8. CONCLUSÕES

Esse artigo teve como objetivos mostrar o processo de britagem em uma mineradora, problemas de operação, de manutenção e abordagem da ferramenta FMEA. O processo de britagem juntamente com fluxograma de processo foi apresentado. Os principais equipamentos típicos e suas respectivas funções foram descritas. Os tipos de manutenções realizadas no setor e suas vantagens e desvantagens foram discutidas, sendo necessária uma melhoria no sentido de reduzir os esforços com manutenção corretiva não planejada e intensificar as ações em manutenção preventiva e principalmente em manutenção preditiva.

A relação entre disponibilidade e indisponibilidade pela operação e pela manutenção no processo de britagem foi apresentada. São analisados os problemas enfrentados pela equipe de operação e sugestões para evitar e reduzir os mesmos. Exemplos de manutenções corretivas emergenciais são analisadas e soluções sugeridas. Essas soluções não envolvem grandes investimentos quando comparadas com as perdas por lucro cessante com as interrupções do processo. Trata-se de aquisições de novos equipamentos, substituições de outros e maior conscientização e treinamento da equipe de operação.

A ferramenta FMEA foi apresentada e aplicada sobre um transportador de correia, pois foi sobre esse equipamento que recaiu todos os problemas de manutenção e operação descritos. Três dos quinze modos de falhas (20 % do total) apresentaram RPN maior que 300, número este adotado como referencial para tomada de decisão prioritária em busca de erradicação do modo de falha. Além disso, esse três modos de falhas representam 32 % do risco do equipamento vir

a falhar. Os modos de falhas atacados foram: MF3 - motor elétrico sobrecarregado, MF5 - redutor com elementos de máquinas danificados e MF11 - correia rasgada por material não britável. Fez-se o mapa de riscos das falhas, onde as três falhas supracitadas foram assim classificadas em ordem decrescente com relação ao risco: MF11, MF3 e MF5. Além disso, esses três modos de falhas foram analisados sob a ótica de custos envolvidos para a erradicação dos mesmos, constatando-se que MF3 e MF11 devem ser atacados primeiramente por envolverem menores custos e posteriormente MF5 por envolver o maior custo de todos eles.

Mostrou-se assim, aplicabilidade da ferramenta FMEA na busca pelas causas e efeitos das falhas, sugestões para priorizar a tomada de decisão para evitar que a falha ocorra com base no grau de risco de interrupção do equipamento e no custo envolvido na realização das medidas sugeridas. Ferramenta essa de grande valia em setores de manutenção industriais e que se corretamente aplicadas proporcionam aumento da disponibilidade dos equipamentos do parque industrial e consequentemente aumento da produtividade da empresa.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chaves, Arthur Pinto e Peres, Antônio Eduardo Clark, 2003, “Teoria e Prática de Tratamento de Minérios - Britagem, Peneiramento e Moagem”, volume 3, 2ª edição, editora Signus Editora Ltda, São Paulo, Brasil, 425-659p.
- Helman, Horácio e Andery, Paulo R. P., 1995, “Análise de Falhas: Aplicação dos Métodos de FMEA e FTA”, volume 11, 1ª edição, Fundação Christiano Ottoni – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 156p.
- Pinto, Alan Kardec e Xavier, Júlio de Aquino Nascif, 2013, “Manutenção – Função Estratégica”, 4ª edição, editora Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, Brasil, 440p.

10. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS - FMEA IN A MINING BELT CONVEYOR

Hélio Augusto Goulart Diniz, helioufmg@gmail.com¹

Douglas Coelho Dutra, douglasdutra@gmail.com¹

Nícolas Cristiano Gomes de Oliveira, ncristiano87@hotmail.com²

Gilberto Gonçalves Braga, gilbertobraga01@hotmail.com.br²

Fabrizio José Pacheco Pujatti, pujatti@demec.ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte/MG – Brazil
ZIP Code 31.270-901 – Phone +55 (31) 3409-3526

²Faculdade Pitágoras – Unidade Contagem - Rua Tom Jobim, 2890 - Cidade Industrial - Contagem – MG - Brazil
ZIP Code 32.210-190 – Phone +55 (31) 3232-9000

Abstract. *The equipment availability of an industrial park is very important for a company to ensure a satisfactory level of productivity. If the industrial equipment in a sector suffer constant interruptions by the production crew or maintenance staff, the industry's availability will be lower than expected, thus compromising the productivity of the company. It is in this context that the present work has been developed, covering the aspects of operation and maintenance sector of a crushing unit of a mining company. Common problems of maintenance and operation were analyzed critically, as well as solutions were discussed to prevent or reduce the frequency of recurrence of the same. There was a technical analysis of major maintenance problems and industry operation, based on the impact on equipment availability and sector productivity. It was found that all the problems discussed fell upon the mining belt conveyor, so this was the main equipment of this study. The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) was applied on the mining belt conveyor for the analysis of faults. It was concluded that three of the fifteen modes mining belt conveyor failures contributes to 32% of the risk of interruption of the equipment. These three modes of failure were organized in priority form of action with regard to the risk of equipment downtime that each provides and also the cost involved in the eradication of each failure mode. Thus it was demonstrated the functionality and importance of FMEA analysis with respect to the decision-making to avoid the risk-based failure and cost while providing the desired predictability availability for the equipment and consequent satisfactory productivity of the company.*

Keywords: *crushing, maintenance, equipment, FMEA.*

Codee: CON-2016-0078