

CAPÍTULO 10

ANÁLISE DE FALHAS, MANUTENÇÕES EM EQUIPAMENTOS E PROBLEMAS DE OPERAÇÃO NA BRITAGEM DE UMA MINERADORA

FAILURE ANALYSIS, EQUIPMENT MAINTENANCE AND OPERATION PROBLEMS IN THE CRUSHING OF A MINING COMPANY

Hélio Augusto Goulart Diniz¹
Jose Dias Pena²
Ivo Zatti Lima Meyer³
Grack Rodrigues Gama⁴

DOI: 10.46898/rfb.9786558892540.10

¹ Universidade Federal de Minas Gerais; Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica; heliougmg@gmail.com

² Centro Universitário Estácio de Sá de Belo Horizonte; Engenharias; jose.di.pena@gmail.com

³ Universidade Federal de Minas Gerais; Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica; ivozatti@hotmail.com

⁴ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais; Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Integridade Estrutural; grackgama@hotmail.com

RESUMO

Esse artigo foi desenvolvido no contexto do processo de britagem de uma mineradora no qual foi descrito o processo de britagem, mostrado o fluxograma de processo e equipamentos típicos do setor. Problemas corriqueiros de manutenções e de operação são apresentados, assim como sugestões foram discutidas para evitar ou reduzir a frequência de reincidência dos mesmos. Foi feita uma profunda análise técnica dos problemas de manutenções e de operação do setor, na qual a produtividade e a disponibilidade são discutidas como forma de embasamento gerencial. Foram feitas análises de falhas completas de equipamentos mostrando a aplicabilidade dessa ferramenta e propondo soluções para evitar a reincidência dos problemas envolvidos nessas falhas.

Palavras-chave: britagem, manutenção, equipamentos, falhas

ABSTRACT

This article was developed in the context of the crushing process of a mining company in which the crushing process was described, showing the process flowchart and typical equipment of the sector. Common maintenance and operation problems are presented, as well as suggestions were discussed to avoid or reduce the frequency of their recurrence. A deep technical analysis of the maintenance and operation problems of the sector was carried out, in which productivity and availability are discussed as a form of management basis. Analyzes of complete equipment failures were carried out, showing the applicability of this tool and proposing solutions to avoid the recurrence of the problems involved in these failures.

Keywords: crushing, maintenance, equipment, failures

1 INTRODUÇÃO

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.

Intervenções pelo pessoal da operação ocorrem, por exemplo, quando o minério entra no circuito da britagem fora da especificação de umidade e granulometria ou quando traz consigo material não britável.

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.

No que diz respeito à análise de falhas, ela é uma ferramenta fundamental para encontrar a causa de uma falha e a partir desse ponto propor soluções para que a falha não volte a ocorrer. A sua aplicabilidade vai desde estudo das intervenções pela operação ao estudo das falhas que originam as manutenções corretivas emergenciais.

Visto esses fatos, esse trabalho visa analisar as intervenções do pessoal de operação, as manutenções realizadas em equipamentos e análise de falhas de casos ocorridos em uma unidade de britagem de uma mineradora. Nessas análises propõem-se soluções para evitar a reincidência dos problemas e busca mostrar ao leitor as dificuldades de operação e manutenção inerentes ao setor de britagem de uma mineradora.

De início é descrito o processo e equipamentos da unidade de britagem. Logo após vem um estudo sobre os tipos de manutenção, na qual esse trabalho vai se basear. Tem-se assim um contexto na qual os problemas de operação, execuções de manutenções e análise de falhas são tratados posteriormente.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Processo de Britagem

A seguir é descrito o processo de britagem de forma simplificada e contextualizada à realidade de uma unidade de britagem de uma determinada mineradora. O processo de britagem consiste basicamente em fragmentação e peneiramento do minério.

2.1.1. Fragmentação de Minério

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, através do rompimento de sua coesão, 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 (Chaves e Peres, 2003). 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.

A fragmentação é composta por dois tipos de operações, as quais são: britagem e moagem. Pode-se definir a britagem como uma operação de fragmentação grosseira, cuja faixa operacional de tamanho para alimentação é da ordem de metro a centímetros, e o tamanho do produto britado é da ordem de centímetros. A moagem caracteriza-se por ser uma operação de fragmentação fina, cuja faixa operacional de tamanho para alimentação é da ordem de centímetros, e o tamanho do produto moído é da ordem de micrômetros (Chaves e Peres, 2003). No caso de uma unidade de britagem, interessa-se saber o primeiro conceito, ou seja, a fragmentação por britagem. Já que a fragmentação por moagem pertence ao processo que vem logo após a britagem e que não é foco de estudo nesse trabalho.

2.1.2 *Britadores*

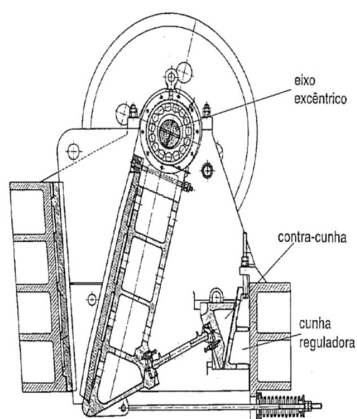
Os Britadores caracterizam-se por apresentar como mecanismo preponderante de fragmentação a compressão, o qual ocorre através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície móvel contra outra fixa. O mecanismo de fragmentação por compressão é o mais comum, aplicado desde a fragmentação de blocos de minério provenientes da frente de lavra (ROM) até as partículas da ordem de centímetros.

Na unidade de britagem analisada há dois tipos de britadores, um do tipo mandíbulas e dois do tipo cônicos.

O britador do tipo mandíbula caracteriza-se por apresentar, de forma simplificada, os seguintes elementos: uma mandíbula fixa, e outra móvel dotada de movimento excêntrico; uma câmara de britagem, que se caracteriza por ser o espaço entre as duas mandíbulas; uma abertura de entrada por onde entra a alimentação do britador e uma abertura de saída local por onde sai o produto britado. A fragmentação do material ocorre quando a mandíbula móvel se aproxima da mandíbula fixa, comprimindo o material localizado dentro da câmara de britagem. Assim a ação de fragmentação caracteriza-se por ser descontínua, pois a mesma só ocorre em metade do movimento da mandíbula móvel, ou seja, quando esta se aproxima da mandíbula fixa. Na outra metade do movimento a mandíbula móvel afasta-se da mandíbula fixa, permitindo o escoamento do material, portanto não promovendo a fragmentação. (Chaves e Peres, 2003). Na figura 1 pode ser visto um modelo simples de britador de mandíbulas.

O britador do tipo cônico caracteriza-se por apresentar, de forma simplificada, os seguintes elementos: uma carcaça metálica de alta resistência fixa; um cone, interno à carcaça metálica, dotado de movimento excêntrico; uma câmara de britagem, que se caracteriza por ser o espaço entre a carcaça e o cone; e uma abertura de entrada corresponde à largura do anel de entrada, e a abertura de saída corresponde ao espaço entre as extremidades inferiores da superfície da carcaça e a superfície do cone. A fragmentação do material ocorre quando o cone dotado de movimento excêntrico se aproxima das paredes internas da carcaça, comprimindo o material localizado dentro da câmara de britagem. Diferentemente do britador de mandíbulas, o mecanismo de fragmentação no britador cônico caracteriza-se por ser contínuo, pois o cone sempre estará aproximando de um dos lados da superfície da carcaça, logo estará continuamente realizando o mecanismo de fragmentação. (Chaves e Peres, 2003). Na figura 2 pode ser visto um modelo de britador tipo cônico.

Figura 1 - Britador de mandíbulas.



Fonte: Chaves e Peres, 2003, p. 437.

Figura 2 - Britador cônico.



Fonte: Metso Minerals, 2005, p. 36.

2.1.3 Peneiramento de Minério

O peneiramento é uma operação que consiste na retirada de finos do material que irá alimentar um equipamento de fragmentação, podendo satisfazer diferentes objetivos técnicos, tais como: minimizar a produção de materiais finos; minimizar o desgaste das peças de revestimento; evitar o empastelamento do britador em função da alta umidade contida em frações granulométricas mais finas de minérios; e maximizar a capacidade produtiva (Chaves e Peres, 2003).

2.1.4 Peneiras e Grelhas

Na operação de peneiramento ocorre a separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. Cada partícula tem apenas as possibilidades de passar, chamada de passante ou de ficar retida, chamada de retido

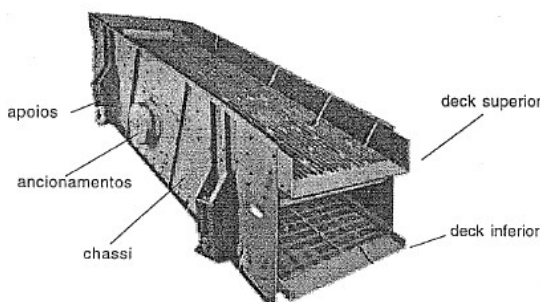
(Chaves e Peres, 2003). No caso dessa unidade de britagem, os gabaritos podem ser grelhas de barras paralelas de uma grelha vibratória ou telas de malhas quadradas de uma peneira vibratória.

Na unidade de britagem analisada existem duas peneiras vibratórias inclinadas e uma grelha vibratória.

As peneiras vibratórias são constituídas por um chassi robusto, apoiado em molas, um mecanismo acionador do movimento vibratório e dois suportes para as telas, chamadas de decks. Elas possuem um movimento vibratório circular ou elíptico, no qual faz com que as partículas sejam lançadas para cima e para frente, de modo que possam se apresentar à tela várias vezes, sempre sobre aberturas sucessivas. Este movimento vibratório causa estratificação do conjunto de partículas sobre a tela, de modo que as partículas maiores fiquem por cima e as partículas menores por baixo (Chaves e Peres, 2003). Na figura 3 é possível ver uma peneira vibratória inclinada.

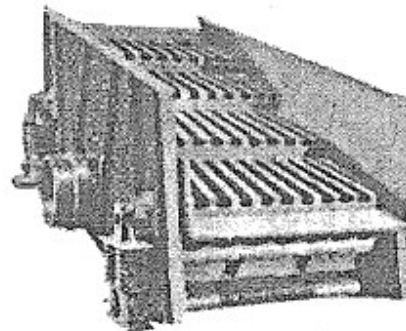
As grelhas vibratórias são aplicadas no peneiramento primário de materiais, onde envolve matacões que podem pesar algumas toneladas. São equipamentos extremamente robustos e resistente ao desgaste, comprimento menor e ocorre a substituição das telas por grelhas de trilhos ou barras (Chaves e Peres, 2003). Na figura 4 é possível ver uma grelha vibratória.

Figura 3 - Peneira vibratória.



Fonte: Chaves e Peres, 2003, p. 514.

Figura 4 - Peneira vibratória.



Fonte: Chaves e Peres, 2003, p. 521

2.1.5 Outros Equipamentos do Processo

Os principais equipamentos do processo de britagem foram apresentados e descritos com maior ênfase anteriormente, por se tratar do sistema conceitual básico de um processo de britagem. Eles são: britadores cônicos e de mandíbulas, peneiras e grelhas vibratórias.

O equipamento responsável pelo transporte do minério na linha de britagem é o transportador de correias (figura 5). Há também equipamentos que auxiliam na retomada do minério ao circuito após esse ser armazenado em silo (reservatório) de estocagem, eles são os alimentadores, que no caso dessa unidade de britagem podem ser do tipo vibratório (figura 6) e de sapatas (figura 7).

Figura 5 - Circuito de correias transportadoras.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 6 - Alimentador vibratório.



Fonte: Metso Minerals, 2005, p. 20.

Figura 7 - Alimentador de sapatas.



Fonte: Metso Minerals, 2005, p. 5.

Há equipamentos auxiliares ao pessoal de operação como o extrator de sucatas (figura 8) que retira material ferroso não britável dos transportadores de correia quando em operação, impedindo que esse material siga em frente e possa paralisar o circuito, como por exemplo, rasgando uma correia. Outro equipamento auxiliar é o supressor de pó (figura 9), responsável por reduzir o nível de poeira de minério quando ele acaba de passar pelo britador.

Figura 8 - Extrator de sucatas.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 9 - Supressor de pó.

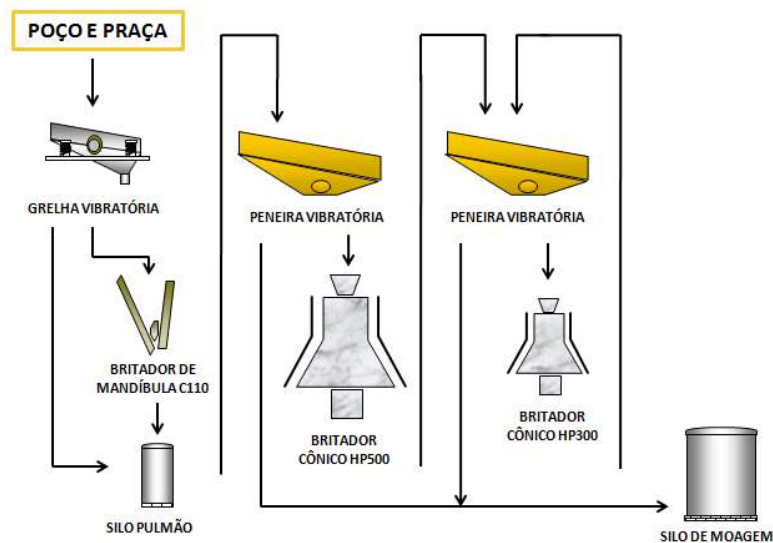


Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

2.1.6 Fluxograma do Processo

Definidos os principais conceitos envolvidos quando se fala de uma unidade de britagem e mostrados os equipamentos da unidade, é apresentado na figura 10 o fluxograma simplificado do processo.

Figura 10 - Fluxograma simplificado do processo.



Na figura 10 estão representadas as três linhas de britagem; a primária, secundária e terciária. Na britagem primária, o minério que vem do poço (mina subterrânea) ou da praça de estocagem (cujo minério é oriundo de outra mina da empresa) passa pela grelha vibratória, o material passante vai para o silo pulmão e o não passante vai para o britador de mandíbulas e depois de britado é encaminhado ao mesmo silo. Esse silo tem a função de “backup” 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 é encaminhado à primeira peneira vibratória, o passante vai para o silo de moagem e o não passante vai para o britado cônico e depois

de britado é encaminhado a britagem terciária. Na britagem terciária, o minério vindo da britagem secundária passa pela segunda peneira vibratória, o passante vai para o silo de moagem e o “não passante” volta para a britagem terciária, ou seja, para o mesmo destino inicial. 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 transforma-se em produto final com 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.

2.2 Visão da Empresa Sobre Manutenção

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 estudo de casos são desenvolvidos nesse texto são abordadas a seguir. Trata-se de manutenção corretiva não planejada, manutenção preventiva e manutenção corretiva planejada baseada em análise preditiva.

2.2.1 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 (Pinto e Xavier, 2013).

2.2.2 *Manutenção Preventiva*

Manutenção 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 (Pinto e Xavier, 2013).

2.2.3 *Manutenção Corretiva Planejada - 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 (Pinto e Xavier, 2013).

2.3 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 2012 foram analisados e são mostrados a seguir. A tabela 1 traz a estratificação dessas interrupções e mostra a indisponibilidade resultante das interrupções pela operação e pelas paradas de manutenção.

Tabela 1 - Interrupções da Produção

Interrupção da Produção (%)				
Manutenção		Operação		
Preventiva	Corretiva	Entupimento	Ajustes	Falta de minério
9,5	8,5	4,1	8,6	4,3

Percebe-se que as paradas pela manutenção são do tipo corretiva (não planejada) e preventiva (que inclui a corretiva planejada, que passa por uma análise preditiva), esta última com um percentual um pouco maior. É sabido que as interrupções por manutenção corretiva são as que mais impactam na produtividade. Já para as interrupções pela operação, tem-se o problema de entupimento que será descrito nesse trabalho, falta de minério tanto do poço quanto da praça de estocagem (problema que infelizmente 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, que funciona como “backup” 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 mostra de forma geral a disponibilidade do tempo para a manutenção, para as intervenções pela operação e para a produção de britagem de minério.

Tabela 2 - Disponibilidade Global

Disponibilidade Global (%)		
Manutenção	Operação	Produção
18,0	17,0	65,0

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 toneladas/hora, levando em consideração os dados da indisponibilidade de produção. A produção mensal é de 125.000 toneladas/mês. 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.

2.4 Análise de Intervenções pela Operação

A seguir são mostrados alguns problemas nos quais há intervenção por parte do pessoal de operação, correspondendo a 17% da indisponibilidade produtiva da britagem no período avaliado, conforme a tabela 2.

Na figura 11 está registrado o problema de entupimento por excesso de umidade do minério vindo do poço. 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 meca-

nicamente 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. O correto é esse minério ser encaminhado para a praça e secar a ação do tempo, conforme é feito, ou então passar por um controle do pessoal do poço antes de subir nesse estado.

Na figura 12 está registrado o momento de entupimento do britador de mandíbulas por matacões. Conforme já dito, o tamanho médio do minério que chega a britagem é de 150 mm, porém o minério oriundo da praça pode possuir granulometria bem superior, como neste caso. Esse problema causa a parada da linha de britagem primária por várias horas. Esses matacões devem ser retirados por pinça hidráulica, e disponibilizar na área da praça um rompedor hidráulico para desfazer os matacões antes que eles entrem na linha de britagem e cause esse entupimento.

Figura 11 - Entupimento por excesso de umidade.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 12 - Entupimento por matacões.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Na figura 13 tem-se o registro da praça de estocagem e na figura 14 registra o problema de granulometria muito acima da especificação, como descrito anteriormente.

Um fato inerente à rotina da britagem é a presença de material não britável junto ao minério a ser britado. Conforme dito, há equipamentos como o extrator de sucatas (figura 8) responsável por retirar o material ferromagnético não britável dos transportadores de correia que recebem esse minério vindo do poço ou da praça.

A falha desse equipamento em atuar por estar parado pela operação, ou quando é usado um detector de metais em vez do extrator, que no caso precisa da assistência da operação quando um não britável é capturado, pode ocasionar sérios danos às correias e a linha de britagem ficar para por várias horas até uma emenda ser feita nas mesmas.

Figura 13 - Praça de estocagem mineral.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 14 - Matacões na praça.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

A figura 15 registra um material ferromagnético que causou o rasgo da correia que o transportava. O material agarra nas paredes do transportador e em contato com a correia atua como uma lâmina, rasgando-a. Esse material não foi captado pelo detector de metais, por este estar saturado de materiais que não foram removidos pelo pessoal de operação ou o pelo equipamento estar inoperante naquele instante. A solução do problema requer 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, a linha de transporte seja interrompida até eles entrem em operação novamente. Para agravar a situação de rasgo de correias, esse problema também ocorre quando lamelas do minério, ou seja, em pedras formato de lâminas entram no circuito e agarram nas paredes do transportador provocando o corte da correia. Na figura 16 está registrada essa situação. A operação deve atentar a esse formato de minério, removendo-o ou rompendo-o dependendo do caso.

Figura 15 - Rasgo de correia po material metálico.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 16 - Rasgo de correia por lamela do minério.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

A figura 17 mostra uma caçamba cheia de material não britável retirado de uma correia transportadora que recebe material do poço. Em sua maioria são lanças que sustentam o teto da mina quando ela está sendo explorada. A figura 18 mostra material não britável e não metálico vindo do poço após passar pelos britadores e circular pelo sistema. Não causam danos sérios, apenas entupimento de chutes, de correias, dentre outros.

Figura 17 - Caçamba cheia de material não britável. metálico.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 18 - Material não britável e não metálico.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

2.5 Análise de Intervenções pela Manutenção

Pela tabela 2, percebe-se que 18% da indisponibilidade produtiva da unidade de britagem no período avaliado é devida as manutenções. Desse percentual, praticamente a metade é devido a corretivas emergenciais. A seguir são avaliados os impactos causados pelas falhas de equipamentos e soluções são sugeridas. A importância da análise preditiva em identificar se determinado ativo está próximo de falhar é estudada, que caso ocorresse, entraria no grupo de manutenção emergencial. As manutenções preventivas também são exemplificadas.

Como contextualizado na parte de intervenções pela operação, o rasgo de correia paralisa o transportador de correia (figuras 15 e 16) e aquele setor do circuito de britagem fica inoperante. Dependendo do tamanho do estrago à correia, 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 perdeu dependendo da criticidade do setor na qual aquela correia faz parte. Logo as recomendações já discutidas quanto aos equipamentos auxiliares como extratores de sucatas e atenção do pessoal da operação são de alta relevância para evitar esse transtorno.

Também foi contextualizado o problema gerado pelos matacões que entram no circuito de britagem. Além da perda produtiva causada pelo tempo em que o pessoal de operação gasta para retirar o mataco do circuito de britagem, danos a estrutura física dos transportadores de correia podem ocorrer devido ao peso e ao impacto proporcionado por um mataco ao cair. Pode haver quebra de cavaletes e longarinas que compõe a estrutura física do transportador (figura 19), danos irreparáveis aos roletes (figura 20) que suportam e permitem o movimento da correia, exigindo sua substituição. Dependendo das proporções dos danos, aquele setor do transportador tem que ser reparado para a correia voltar a operar. As recomendações já discutidas para remoção dos matacões são de relevância para se evitar esses danos aos transportadores de correias, ou, alternativamente, sugere-se alterar a geometria e a abertura da grelha.

Figura 19 - Estrutura física do transportador e sustentação da correia.



Fonte: Unidade de britagem analisada.

Figura 20 - Rolete de transportador de correia danificado.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Como análises de preditivas realizadas nos equipamentos de britagens, destacam-se: a análise de óleo dos conjuntos moto-redutor dos transportadores de correias e das centrais hidráulicas dos britadores; análises termográficas nos painéis elétricos da central de comando de motores; análise de vibração dos conjuntos mo-

to-redutor dos transportadores de correias; inspeção do sistema de excitação das peneiras vibratórias; e dentre outras análises.

As análises preditivas visam saber se está na hora de programar a intervenção do equipamento e fazer uma manutenção corretiva. Busca reduzir custos de manutenção por preservar a integridade do equipamento e evitar perdas de produtividade pela falha catastrófica.

Há uma série de manutenções preventivas que rotineiramente ocorrem na britagem. Elas têm como objetivo intervir já sabendo o período médio de tempo entre as manutenções nesses equipamentos e manter a saúde e desempenho dos mesmos. Em sua grande parte, são trocas de materiais de desgaste por causa inerente do processo, por se tratar de minério que proporciona elevado desgaste abrasivo nos revestimentos dos equipamentos. Exemplos são: Troca de revestimentos de chutes (calhas que transferem minério de uma correia à outra), roletes de transportador de correia, peças de desgaste de britadores e peneiras vibratórias. Também são tratados como preventivas a lubrificação dos elementos rolantes, tais como mancais dos tambores de transportadores de correias, peneiras, motores elétricos de acionamentos, dentre outros.

2.6 Análises de Falhas

A análise de falha tem como objetivos principais: aumento da confiabilidade operacional da planta, o que é feito aumentando-se a disponibilidade dos equipamentos; redução de custos de manutenção; redução de riscos de acidentes pessoais, ambientais e com os equipamentos. Esses objetivos podem ser atingidos se for possível evitar novas falhas. A investigação deve determinar as causas básicas da falha e essa informação deve ser utilizada para permitir a introdução de ações corretivas que impeçam a repetição do problema (Affonso, 2014).

A seguir são realizadas duas análises de falhas ocorridas na britagem e que causaram representativa perda de produtividade por causa da interrupção de funcionamento de equipamentos de alta criticidade do processo.

A primeira análise de falhas é feita no sistema de movimentação de um transportador de correia que falhou em um ponto de alta criticidade da linha de britagem. O transportador é responsável por retomar o minério estocado na praça para a linha de britagem. Quando ocorreu a falha, esse minério da praça ficou por volta de dois dias sem poder ser britado e a britagem primária passou a funcionar quando vinha minério do poço, processo que ocorre de forma intermitente e há períodos em

que não abastece a britagem. Ou seja, a produtividade da britagem primária ficou bastante afetada.

Toda correia da britagem possui dois tambores, um tambor motor que transmite torque e permite a correia movimentar superando as resistências e o outro tambor movido, cada qual em uma extremidade do transportador. Essa falha no transportador de correia ocorreu pela quebra do eixo do tambor movido que mantém a correia tensionada e em movimento (figura 21), próxima do mancal de suporte, e pela quebra do mancal da outra ponta do eixo do tambor. Quando ocorreu a quebra do eixo de um lado do tambor, este se moveu para frente e a outra ponta do eixo aplicou um momento maior que o mancal poderia suportar e acabou por quebrá-lo (figura 22).

O tambor movido ficava próximo ao alimentador vibratório que faz a retomada do minério da praça ao circuito. Como discutido anteriormente, devido à quantidade de matações presentes nesse minério, a sobrecarga de flexão e torque sobre o eixo do tambor para suportar a queda e o de movimentar esse material, provocou um acelerado processo de fadiga sobre o eixo.

Figura 21 - Quebra do eixo do tambor movido.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 22 - Quebra do mancal do lado oposto ao eixo fraturado.



Fonte: Unidade de britagem analisada.

Neste caso, a falha por fadiga é identificada analisando a superfície fraturada (figura 23). Percebe-se uma pequena área corroída representando o nível do esforço final na qual ocorreu a fratura, ou seja, o esforço foi baixo. Pode-se observar a trinca (região de degrau), que propaga da superfície onde os esforços de torção e flexão são maiores até o centro. A trinca evidencia que o eixo rompeu com elevado concentrador de tensões. As marcas de praia não são nítidas, porém o restante da superfície do eixo é lisa (Affonso, 2014).

O fato agravante nessa manutenção emergencial foi que não havia no almoxarifado peças de reposição, ou seja, tambor movido, mancal de rolamento do tipo

rolo e caixa de mancal. A compra foi emergencial e o tempo de reparo foi relativamente rápido. A figura 24 registra o momento após a manutenção corretiva, na qual o transportador de correias voltou a funcionar. Como sugestão para reduzir o impacto na produção devido o tempo em que o equipamento ficou fora de operação seria manter no estoque esses sobressalentes citados anteriormente, uma vez que é complexa a estimativa de números de ciclo para o eixo do tambor por ter uma carga aplicada muito variável e intermitente, inerente ao processo. Por outro lado, atuando na raiz deste problema e como sugestão alternativa, recomenda-se alterar a geometria e a abertura da grelha para diminuir o risco de passagem de matacões que causaram a sobrecarga investigada.

Figura 23 - Fratura do eixo preso ao mancal



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 24 - Tambor e mancal após manutenção.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Os riscos humanos e ambientais são nulos e as perdas produtivas envolvidos na falha analisada são irrelevantes se comparar com os gastos adicionais com a troca dos componentes analisados, pois eles podem operar muito tempo depois e a produção automaticamente seria compensada pela parada corretiva desde que mantidos os componentes no almoxarifado para eliminar o tempo de compra e a vinda dos mesmos às mãos da manutenção.

A segunda análise de falhas foi feita no motor elétrico de acionamento do britador secundário. Esse britador é o responsável pelo processo de fragmentação na britagem secundária e está num ponto de alta criticidade do processo. A interrupção de seu funcionamento causou a parada de produção das britagens secundária e terciária, comprometendo o abastecimento do silo de moagem. A parada no início da manhã pela inspeção da operação interrompeu o processo que só foi voltar no fim da tarde do mesmo dia, ou seja, uma parada de quase 12 horas. Essa parada corretiva emergencial exigiu grande esforço das equipes de mecânica e elétrica para buscar um novo motor no almoxarifado, prepará-lo e instalá-lo para então retomar

o processo, tempo esse que comprometeu a execução das outras atividades programadas das equipes citadas.

A falha ocorreu no acionamento do britador que é realizado por um motor elétrico de alta potência (figura 25). Surgiu uma trinca em uma de suas bases, responsável por prendê-lo à estrutura de suporte fixada ao chão. Na figura 26 está em destaque a base trincada do motor.

A operação interrompeu o funcionamento do britador após perceber vibração atípica do motor elétrico. Uma inspeção realizada pelo pessoal de elétrica constatou o surgimento de uma trinca em uma das bases de sustentação do motor conforme destacado na figura 26. Por questões de segurança do pessoal foi providenciada a troca do motor, pois se ocorresse o rompimento dessa base trincada, o nível de vibração aumentaria e o motor ficaria instável podendo ser arrancado do suporte e arremessado, causando danos em outros equipamentos e principalmente danos pessoais aos colaboradores da área.

Figura 25 - Motor elétrico.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 26 - Trinca na base do motor e detalhe do suporte de fixação.



Fonte: Unidade de britagem analisada.

As causas do problema são várias. Pela análise da figura 26, vê-se a não conformidade de fixação na base do motor ao suporte. A base possui dois furos para fixação de parafusos e o suporte da fundação possui somente um, ficando parte da base para fora do suporte e fixado em somente por um parafuso. Essa instalação reduz a rigidez do motor, fazendo-o vibrar mais ao entrar em operação. O supervisor de elétrica levantou a hipótese de que esse parafuso estava mal apertado, proporcionando maior vibração do motor e surgimento da trinca nessa base. Detalhe da trinca pode ser vista na figura 27. Junto à troca do motor, também foram trocados a polia acionada por esse motor e as correias de transmissão de potência. Pela figura 28, notam-se as trincas de algumas das correias trocadas evidenciando seu acelerado desgaste provocado pelo desalinhamento da polia motora do motor elétrico com

a polia movida do britador. Esse desalinhamento provoca acentuação de vibração tanto no motor quanto no britador, além do desgaste prematuro das correias e possíveis danos nas polias. Outro problema levantado pelo supervisor de elétrica foi o modo de operação do britador acionado por esse motor elétrico. O britador foi por muitas vezes acionado com o circuito carregado de minério, sendo necessário na partida do britador aplicação extra de potência em relação a ele partir em vazio. Essa sobrecarga era passada ao motor elétrico que fazia maior esforço para acionar o britador até ele entrar em operação nominal, fato que podia ser observado pela patinação das correias pelas polias durante o acionamento do britador.

Figura 27 - Detalhe da trinca na base do motor.



Fonte: Foto tirada na unidade de britagem analisada.

Figura 28 - Correias danificadas de acionamento do britador.



Fonte: Unidade de britagem analisada.

A instalação do novo motor foi feita sobre o mesmo suporte já instalado e o motor danificado foi encaminhado a uma empresa especializada em recuperação de motores elétricos. Dias depois foi dado o orçamento para a recuperação do motor, no qual seria necessária substituição da carcaça com o estator, pois a mesma não poderia passar por processo de soldagem, pois iria comprometer o estator. O orçamento ficou por volta de R\$ 50.000,00 e uma cotação desse motor foi feita chegando ao valor de R\$ 80.000,00 para o motor novo. A gerência de britagem optou pela não recuperação do motor e sim pela compra de um novo para o almoxarifado.

Há sugestões para evitar a repetição dessa falha inesperada. Primeiramente o suporte de fixação do motor deve ser alterado e instalado um novo com maior largura de base e com opção de fixação de dois parafusos, assim como o projeto do motor elétrico. A fixação desses parafusos tem que passar por processo de inspeção contínua para verificação de aperto dos mesmos, pois a própria vibração do motor e do britador ao lado induz esse desaperto dos parafusos. Ao fazer a instalação das correias nas polias, aplicar um processo eficiente de alinhamento das mesmas para eliminar a possibilidade de vibração oriunda de desalinhamento desses elementos de máquinas. Orientação ao pessoal de operação em descarregar o britador se es-

tiver cheio antes de colocá-lo novamente em operação para evitar a sobrecarga do motor e excitação maior de vibração do mesmo.

3 CONCLUSÃO

Esse artigo teve como objetivo mostrar o processo de britagem em uma mineradora, problemas de operação, de manutenção e abordagem da ferramenta de análise de falhas. O processo de britagem foi descrito, o fluxograma de processo explicado e os equipamentos típicos e suas respectivas funções foram apresentados. Os tipos de manutenções realizadas no setor e suas vantagens e desvantagens foram discutidas. A relação entre disponibilidade e indisponibilidade pela operação e pela manutenção no processo de britagem foi apresentada. Foram mostrados os problemas enfrentados pelo pessoal de operação e sugestões para evitar e reduzir os mesmos foram citadas. Exemplos de manutenções corretivas emergenciais foram analisadas e soluções sugeridas. Já para os outros tipos de manutenções foram citadas as principais realizadas no setor, sem a preocupação de análise mais profunda. Por fim, duas análises de falhas foram feitas em equipamentos de alta criticidade do processo, mostrando a aplicabilidade dessa ferramenta na busca pelas causas da falha e sugestões para evitar a repetição do problema.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, LUIZ OTÁVIO AMARAL. **Análise de falhas e soluções de problemas**. 3ª Edição, Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014, 408p;

CHAVES, ARTHUR PINTO; PERES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK. **Teoria e Prática de Tratamento de Minérios - Britagem, Peneiramento e Moagem, Volume 3**. 2ª Edição, São Paulo: Signus Editora Ltda, 2003, 425-659p;

METSO MINERALS. **Manual de Britagem**. 6ª Edição, Sorocaba: Editora Publicação Técnica, 2005, 247p;

PINTO, ALAN KARDEC; XAVIER, JULIO DE AQUINO NASCIF. **Manutenção - Função Estratégica**. 4ª Edição, Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013, 440p.