

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO ARCOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

João Pedro Mendonça Barbosa

ESTUDO SOBRE O CONTROLE DE MANUTENÇÃO NO PROCESSO DE BRITAGEM

Arcos
2022

JOÃO PEDRO MENDONÇA BARBOSA

ESTUDO SOBRE O CONTROLE DE MANUTENÇÃO NO PROCESSO DE BRITAGEM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Avançado Arcos como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana

Arcos
2022

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - *Campus* Avançado Arcos

B238e Barbosa, João Pedro Mendonça.
2022 Estudo sobre o controle de manutenção no
 processo de britagem / João Pedro Mendonça
 Barbosa. - Arcos, 2022.
 40 f. : il. color.

 Orientador: Luiz Augusto Ferreira de Campos
 Viana.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação
 em Engenharia Mecânica.) - Instituto Federal de
 Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
 - *Campus* Avançado Arcos.

 1. Mineração. 2. Britagem. 3. Manutenção. I.
 Viana, Luiz Augusto Ferreira de Campos
 (orientador). II. Instituto Federal de Educação,
 Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus*
 Avançado Arcos. III. Título.

CDD: 622

Elaborada por Meriely Ferreira de Almeida- CRB-6/2960



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Arcos
Diretoria de Ensino
Docentes Área Técnica

Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG
3733515173 - www.ifmg.edu.br

Ata de Defesa de TCC do Curso de Bacharelado em
Engenharia Mecânica, realizada em 02 de dezembro de
2022

Ao segundo dia do mês de dezembro de dois mil e vinte e dois, às onze horas e trinta minutos, se reuniu a banca avaliadora composta pelo Professor Claudio Humberto Junqueira de Sousa, Professor Marcos Paulo Gonçalves Pedroso e Professor Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana (orientador), para avaliar o trabalho intitulado “Estudo sobre o controle de manutenção no processo de britagem”, apresentado pelo aluno João Pedro Mendonça Barbosa, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico. Após apresentação e arguição, emitiu-se o parecer “aprovado”, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. Para fins de registro na disciplina Trabalho Acadêmico Integrador X, a banca avaliadora emite, em consenso, o conceito final 90. Nada mais havendo a tratar, a defesa foi encerrada às doze horas e trinta minutos e eu, Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 02 de dezembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, Professor**, em 02/12/2022, às 14:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Claudio Humberto Junqueira de Sousa, Professor Substituto**, em 03/12/2022, às 13:19, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Paulo Gonçalves Pedroso, Professor**, em 04/12/2022, às 09:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1394676** e o código CRC **920A76DF**.

23808.001075/2022-31

1371801v1

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para minha formação, incentivando e apoiando em toda trajetória. Fica aqui minha dedicatória à minha mãe, minha irmã, minha namorada, aos meus professores e amigos que sempre estiveram comigo nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me sustentar nos momentos bons e principalmente nos momentos difíceis ao longo do curso. À minha família, especialmente à minha mãe, minha irmã e meu pai, que sempre estiveram ao meu lado, me incentivando, encorajando e acreditando em mim. À minha namorada que também sempre esteve presente dando apoio e motivação durante este percurso. A todos os servidores do IFMG – Campus Arcos que transmitiram seus conhecimentos, contribuindo para meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal. A todos os amigos que fiz durante esses anos, os quais foram essenciais ao longo desta trajetória.

“A persistência é o menor caminho
do êxito”.
Charles Chaplin

RESUMO

A manutenção é um dos pilares fundamentais no setor industrial, sendo necessário utilizá-la de maneira estratégica, conforme o tipo mais adequado, garantindo e melhorando sempre a eficiência dos equipamentos nos diversos processos da área. Os princípios da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) trazem uma maior garantia de que o equipamento vai estar em condições adequadas de funcionamento, apresentando através de indicadores como Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), Tempo Médio de Reparos (MTTR), Disponibilidade e ferramentas como a Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA). Através dessas ferramentas é possível calcular a confiabilidade do equipamento crítico no processo de britagem. O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo do processo de mineração, desde a extração do minério até sua chegada no processo de britagem e analisar o controle de manutenção de um equipamento crítico da área. O resultado do estudo mostra que por mais que o equipamento é crítico, ele possui uma ótima confiabilidade e disponibilidade bem próxima de 100%.

Palavras-chaves: Mineração, Britagem, Manutenção, Indicadores.

ABSTRACT

Maintenance is one of the fundamental pillars in the industrial sector, and it is necessary to use it strategically, according to the most appropriate type, always guaranteeing and improving the efficiency of equipment in the various processes in the area. The principles of Reliability Centered Maintenance (MCC) bring greater assurance that the equipment will be in proper operating conditions, shown through indicators such as Mean Time Between Failures (MTBF), Mean Time to Repair (MTTR), Availability and tools such as Failure Modes and Effects Analysis (FMEA). Through these tools it is possible to calculate the reliability of critical equipment in the crushing process. The present work aimed to carry out a study of the mining process, from the extraction of the ore to its arrival in the crushing process, and to analyze the maintenance control of critical equipment in the area. The result of the study shows that even though the equipment is critical, it has excellent reliability and availability close to 100%.

Key-words: Mining, Crushing, Maintenance, Indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mina	17
Figura 2 – Planta da Britagem	18
Figura 3 – Fluxograma da Britagem	18
Figura 4 – Tremonha de descarga	19
Figura 5 – Britador	20
Figura 6 – Rompedor	20
Figura 7 – Correia transportadora	21
Figura 8 – Peneira vibratória	21
Figura 9 – Evolução das técnicas de manutenção	24
Figura 10 – Curva característica da vida de equipamentos (Curva da Banheira)	31
Figura 11 – Disponibilidade e Confiabilidade - (%)	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo do MTBF e MTTR	35
Tabela 2 – Cálculo da confiabilidade	35
Tabela 3 – Cálculo da disponibilidade	36

LISTA DE ABREVIACOES

MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	Tempo Médio de Reparos
FMEA	Análise dos Modos e Efeitos de Falhas
RPN	Número de Prioridade de Risco
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Extração na mineração	16
2.2	Britagem	17
2.3	Contexto histórico da manutenção	22
2.4	Tipos de manutenção	24
2.5	Criticidade dos ativos	25
2.6	Análise dos Modos e Efeitos de Falhas - (FMEA)	26
2.7	Confiabilidade	28
2.8	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	29
2.9	Disponibilidade dos equipamentos	29
3	METODOLOGIA	32
3.1	Determinação dos componentes da britagem	32
3.2	Criação do FMEA para equipamento crítico	32
3.3	Cálculo MTBF e MTTR	33
3.4	Cálculo da Confiabilidade e Disponibilidade	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Análise do MTBF e MTTR	35
4.2	Análise da Confiabilidade e Disponibilidade	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A manutenção é o conjunto de cuidados e procedimentos técnicos necessários para o bom funcionamento e também ao reparo de máquinas, equipamentos, peças e outros. Ela atua na concepção de projetos, visando a acessibilidade dos conjuntos mecânicos e até mesmo no dimensionamento de peças e componentes que devem obedecer critérios para facilitar as operações futuras de manutenção, (SAMUEL, 2018).

Segundo Baldissarelli e Fabro (2019), as revoluções que ocorreram no decorrer dos anos fizeram com que a manutenção também evoluísse, desempenhando papéis estratégicos devido à exigência diante das melhorias de qualidade, confiabilidade e redução de custo. Essa evolução veio para atender máquinas, equipamentos e planos de manutenções, desenvolvendo tipos de manutenção que atendessem as necessidades dos setores.

A área da mineração conta com alguns fatores até a chegada do calcário na fábrica, interferindo de maneira direta no produto final. Há empresas que não possuem a mina no mesmo local da fábrica, desta forma, os caminhões ficam responsáveis por transportar o material.

Após a chegada do calcário na fábrica acontece o processo de britagem. Em seguida, acontece a fragmentação dos blocos obtidos na mina, os quais passam por equipamentos que reduzem o seu tamanho Vargas, Luz e Luiz (2010). Posteriormente, os blocos seguem para os demais equipamentos para separação e classificação do material. Nestes processos, o material que ficar menor conforme as especificações, é considerado como rejeito. Ao passar por estas separações, o material é transportado por correias, sendo armazenado nos pulmões, nome que refere-se as pilhas de calcário que são formadas, separando o material conforme sua granulometria.

O estudo realizado apresenta conceitos da manutenção e seus tipos que podem ser aplicadas no setor de mineração na área de britagem, afim de acompanhar equipamentos diante de sua criticidade. As manutenções de forma geral, tendem garantir agilidade na liberação dos equipamentos e redução dos tempos de parada conforme a disponibilidade da planta.

Portanto, o presente trabalho está relacionado ao estudo de determinados tipos de manutenções no processo de mineração, aplicados na área da britagem. Será abordado o estudo e explicação de alguns processos e componentes importantes, desde a extração do material para britagem até os tipos de manutenções.

1.1 Justificativa

A manutenção industrial é uma área importante que necessita do funcionamento adequado de toda cadeia produtiva, mantendo alinhado todos os equipamentos e máquinas para realização do trabalho. O planejamento adequado traz clareza a todos os colaboradores, passando a certeza de quais são os impactos da manutenção.

O preço dos produtos e materiais está cada vez mais em alta, desta forma é quase inviável a substituição de peças sem o acompanhamento e diagnóstico da falha. Este é um dos principais motivos para buscar estratégias nas operações, atentar-se em uma manutenção de qualidade, controlando o funcionamento dos equipamentos de modo que se tenha uma disponibilidade geral.

Na Indústria 4.0 destacam-se as manutenções preditivas, atuando na coleta de dados, diagnósticos, ajudando na programação de manutenções. Através de inspeções é possível coletar e armazenar as informações em *softwares*, sendo útil para acompanhar e diagnosticar equipamentos de imediato ou a longo prazo, afinal, os dados estarão armazenados para monitoramento. Com esse armazenamento é possível analisar as condições de funcionamento dos componentes, prevendo possíveis falhas ou quebras antecipadas, obtendo melhor controle no desempenho dos ativos conforme sua vida útil.

As cobranças diante do custos de manutenção são muitas. Elas envolvem a mão de obra, ferramentas, peças substituídas e outros. As estratégias de trabalho como, por exemplo, a manutenção centrada na confiabilidade garantem uma disponibilidade, reduzindo o número de falhas, paradas não planejadas e custos dentro da empresa. O cenário atual incentiva pesquisas de metodologias baseadas nestes tipos de manutenções, (SELLITTO, BORCHARDT e ARAÚJO (2002)).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em apresentar um estudo sobre o controle de manutenção utilizada no processo de britagem, com intuito de inspecionar o funcionamento da área de britagem de calcário.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o processo de extração do calcário até a chegada no setor da britagem;
- Apresentar os tipos de manutenções;
- Aplicar conceitos básicos da Manutenção Centrada na Confiabilidade, para definição de falhas, disponibilidade e confiabilidade no setor da britagem de calcário.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Extração na mineração

A mineração é uma atividade importante para o setor industrial, consistindo na extração de minérios que se concentram naturalmente na terra. No trabalho serão abordados conceitos sobre a mineração em céu aberto conforme a Figura 1, destacando a cal como produto final da mineradora.

O processo de mineração consiste em algumas atividades até a chegada do produto final, dentre elas: pesquisa, exploração, lavra (extração) e beneficiamento dos minérios presentes no subsolo, (SANTOS, 2019).

O Quadro 1 apresenta processos importantes utilizados na mineração conforme suas etapas:

Quadro 1 - Processos na mineração

Etapas	Descrição
Prospecção	Refere-se às fases de estudo e reconhecimento geológico preliminares, consistindo em atividades que observam a ocorrência de minerais que tenham valor econômico.
Pesquisa mineral	Refere-se às fases de exploração, realizando um delineamento e avaliações da área conforme estudos sobre o beneficiamento daquele minério, pois nem tudo que será extraído é utilizado para beneficiamento.
Lavra	Refere-se às fases do desenvolvimento do projeto e a extração do minério.

Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2019).

A investigação geológica do terreno consiste na retirada de amostras para realização de testes físicos e químicos, determinando a adequação de material para a calcinação. Outra atividade que se destaca é a aprovação, visando garantir uma utilização responsável das reservas e também utilizá-las de forma eficiente, (LHOIST, 2022).

Para dar início ao processo de perfuração e detonação na mina é realizado um estudo, pois, um programa de detonação rigoroso assegura a qualidade e quantidade dos grandes volumes de pedra necessários para alimentar as instalações de transformação. Antes de detonar o material são adotadas medidas visando a segurança e bem-estar de todos os envolvidos, consistindo em: comunicado sobre a detonação, isolamento da área e avisos sonoros. No processo de detonação os equipamentos de perfuração criam aberturas com tamanhos e profundidade padronizadas conforme análise, para assim colocar os explosivos, (LHOIST, 2022).

Na extração do calcário têm-se (CaCO_3), sendo selecionado e britado para adquirir granulometrias menores. Ao submeter o calcário a altas temperaturas, em cerca de 1000°C dentro

de fornos industriais, acontece o processo de calcinação. Após sua queima o resultado desse processo será o CaO (óxido de cálcio ou cal), (SOARES et al., 2007).

O processo de calcinação do calcário visa eliminar o dióxido de carbono provocado pela alta temperatura do forno. Assim, as reações químicas e físicas transformam o calcário em cal. A equação química da calcinação do calcário se dá conforme a Equação 2.1.

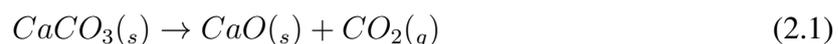


Figura 1 – Mina



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

2.2 Britagem

A britagem é um conjunto de operações unitárias que tem como objetivo fragmentar blocos de minérios oriundos da mina, deixando o mesmo em granulometria adequada para processamento, (LUZ; ALMEIDA; BRAGA, 2018).

Segundo MULLAR (1980 apud LUZ; ALMEIDA; BRAGA, 2018), a britagem é um estágio no processamento de minérios que utiliza sucessivas etapas, equipamentos apropriados para redução de tamanhos convenientes para todo o processo. A Figura 2 representa a área de britagem em uma empresa de mineração.

Figura 2 – Planta da Britagem

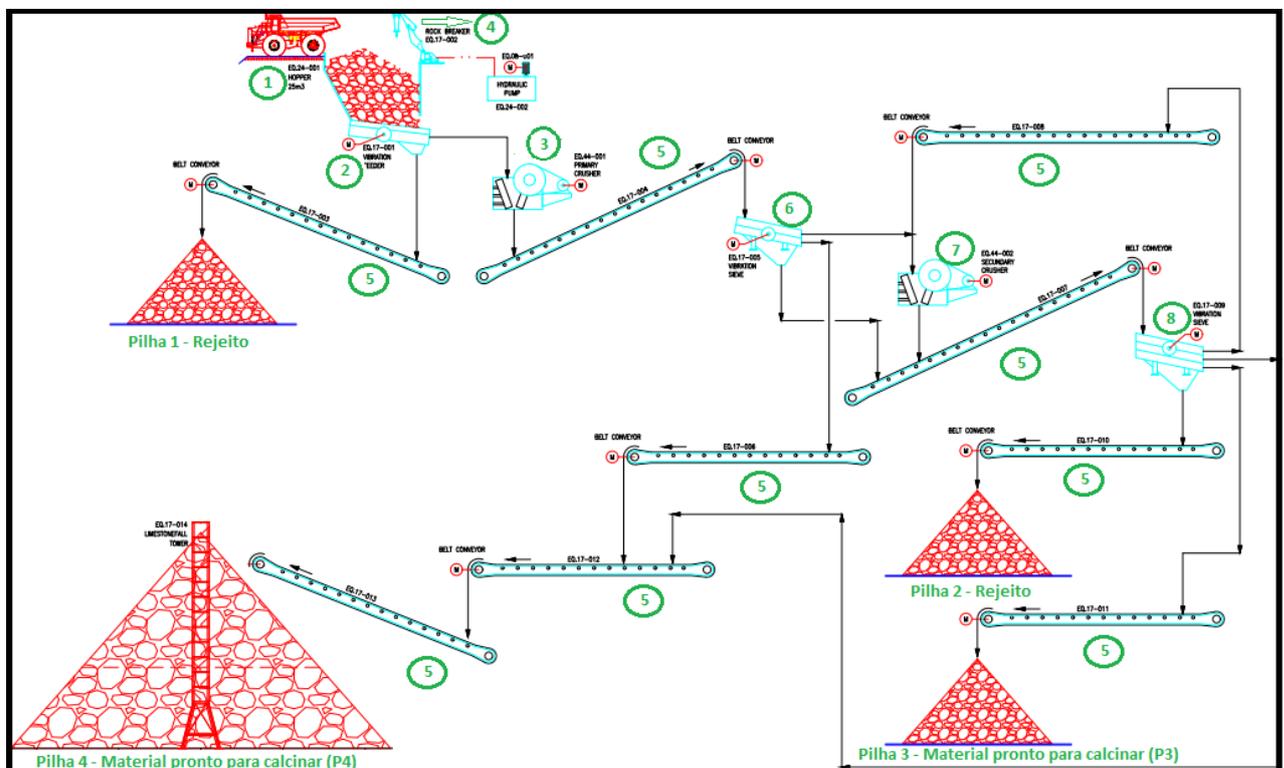


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

2.2.1 Componentes da britagem

No processo da britagem há uma série de componentes fundamentais para sua utilização até o momento de armazenamento de material nas pilhas (pulmões). A Figura 3 mostra a relação dos equipamentos conforme as marcações dos itens na planta da britagem de uma empresa de mineração.

Figura 3 – Fluxograma da Britagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- (1) - Tremonha de descarga de calcário - Segundo Silva (2005), as tremonhas de descarga conforme a Figura 4, servem para a dupla estocagem e descarregamento do material a uma taxa controlada e suas dimensões variam com relação à operação que será realizada.

Figura 4 – Tremonha de descarga



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- (2) - Alimentador vibratório - O alimentador vibratório é utilizado para receber material e realizar seu fornecimento. Através da vibração ele alimenta equipamentos seguindo para o seu processamento, (FELIZOLA, 2012).
- (3) e (7) - Britadores - O trabalho apresentado conta com dois britadores de mandíbulas, sendo um primário e outro secundário.

A Figura 5 representa um britador e segundo Metso (2022), o objetivo principal dos britadores é reduzir o tamanho do material permitindo seu transporte em esteiras transportadoras.

Figura 5 – Britador



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- (4) - Rompedor - Segundo o site da MP (2018), o rompedor apresentado na Figura 6 é uma ferramenta com formato de uma braço hidráulico utilizado para demolir materiais, tornando os mesmos em granulometrias menores.

Figura 6 – Rompedor



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- (5) - Correias transportadoras - A Figura 7 representa os transportadores de correias os quais são equipamentos utilizados em diversas áreas, inclusive na indústria de mineração, pois, otimizam a produção, (FILHO, 2020).

Conforme a norma da ABNT (1999), as correias transportadoras são componentes que podem ser de forma horizontal ou com inclinação, ou em curvas (côncavas ou convexas), destinado ao transporte de materiais. Essas correias podem possuir características reversí-

veis ou não, em que as mesmas se deslocam sobre rolos e roletes, possuindo partes que possuem características de carregamento e descarregamento de material.

Figura 7 – Correia transportadora



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- (6) e (8)- Peneiras vibratórias - A britagem referente a este trabalho conta com duas peneiras vibratórias, sendo uma primária e outra secundária. Elas são equipamentos que automatizam o processo de classificação do minério em duas ou mais classes conforme a Figura 8, mediante uma ou mais superfícies vazadas com coberturas chamadas de *deck* e dimensões definidas, (LUZ; CARVALHO, 2005).

Figura 8 – Peneira vibratória



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

2.2.2 Funcionamento da britagem

Após a execução dos processos de extração do calcário na mina, o minério chega na fábrica, transportado por caminhões basculantes que descarregam o material no alimentador vibratório para iniciar o beneficiamento.

O alimentador vibratório alimenta o britador primário, o qual é um equipamento com modelo de mandíbula fixa e móvel com abertura de 125 mm dente a dente. Assim, o britador reduz o tamanho do minério e o que for maior que 125 mm entra em ação o equipamento chamado rompedor, para reduzir o tamanho do material e possibilitar a passagem do minério.

Após o minério passar pelo britador primário, há correias transportadoras que recebem o material e o encaminham para as próximas etapas da britagem. Assim, o minério é transportado para a peneira vibratória primária que possui um *deck* acima de 50 mm e um segundo *deck* entre 25 mm e 50 mm. Diante dessas características é realizada a classificação granulométrica do material e o que estiver abaixo de 25 mm é considerado rejeito, entre 25 e 50 mm é encaminhado para a pilha pulmão e o que estiver retido no primeiro *deck* acima de 50 mm, cai em um rebitador que tem a função de diminuir o tamanho do calcário.

O britador secundário brita novamente o calcário que está acima da especificação desejada e em seguida o minério é transportado novamente pelas correias transportadoras e encaminhado para a peneira secundária, a qual possui mesmas características que a peneira primária.

Passando por estas etapas o material recebe a classificação de P3 e P4, sendo denominado o seu tamanho conforme a separação durante o processo. Assim, o material é transportado para as pilhas conforme sua classificação granulométrica, pronto para ser calcinado.

2.3 Contexto histórico da manutenção

Há diversas maneiras de definir a palavra manutenção. Segundo SILVA et al. (2020), a manutenção é conceituada como um conjunto de técnicas e ações planejadas em que sua principal funcionalidade é manter ou atender a regularidade da produção, sua qualidade e a segurança com o mínimo de custos totais.

A história da manutenção industrial segundo Kardec e Nascif (2008), é classificada em quatro principais gerações do qual cada uma delas abrange um certo modelo predominante, sendo elas:

2.3.1 Primeira Geração:

A primeira geração iniciou na década de 30 e foi descrita como manutenção de característica corretiva, tirando o máximo proveito das máquinas até seu momento de quebra. Como particularidades gerais da época, têm-se:

- Equipamentos simples e superdimensionados;
- Pouca necessidade de produtividade;
- Ausência de práticas sistemáticas de manutenção.

A primeira geração da manutenção se deu em um período anterior a Segunda Guerra Mundial, no qual, a indústria naquela época não contava com uma alta demanda e equipamentos complexos, assim, a limpeza e lubrificação de equipamentos eram as únicas práticas adotadas naquele período.

2.3.2 Segunda Geração:

A segunda geração se deu com o início da manutenção sistemática ou planejada, acontecendo durante a Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 60. Como particularidades gerais da época, têm-se:

- Programa de inspeção;
- Sistema de planejamento e controle do trabalho;
- Grandes e lentos computadores.

O conceito da manutenção preventiva se deu com os eventos ocasionados pela Segunda Guerra Mundial, havendo assim necessidade de aumentar a produtividade, pois, a demanda de vários produtos e a escassez de mão de obra foi afetada.

Com o aumento da utilização de máquinas e equipamentos mais complexos, o número de falhas também aumentou, então foi preciso dar início a um planejamento, pois, as máquinas necessitaram de uma maior disponibilidade e confiabilidade de funcionamento.

2.3.3 Terceira Geração:

A terceira geração ficou marcada entre os anos 70 aos anos 2000, sendo aprimoradas as manutenções planejadas, adotando técnicas novas para serem utilizadas em conjunto com as ações preventivas. Têm-se os seguintes itens como particularidades:

- Condições de monitoramento;
- Computadores pequenos e rápidos;
- Sistemas inteligentes.

A utilização da automação ajustada com a tendência *just in time* mundial, colaborou para o surgimento da manutenção preditiva, pois, as melhorias que obtiveram ocasionou mais falhas que necessitavam ser corrigidas. Portanto, a terceira geração ficou marcada pela implementação de ferramentas necessárias para identificar, analisar, prever e corrigir falhas antes mesmo delas acontecerem.

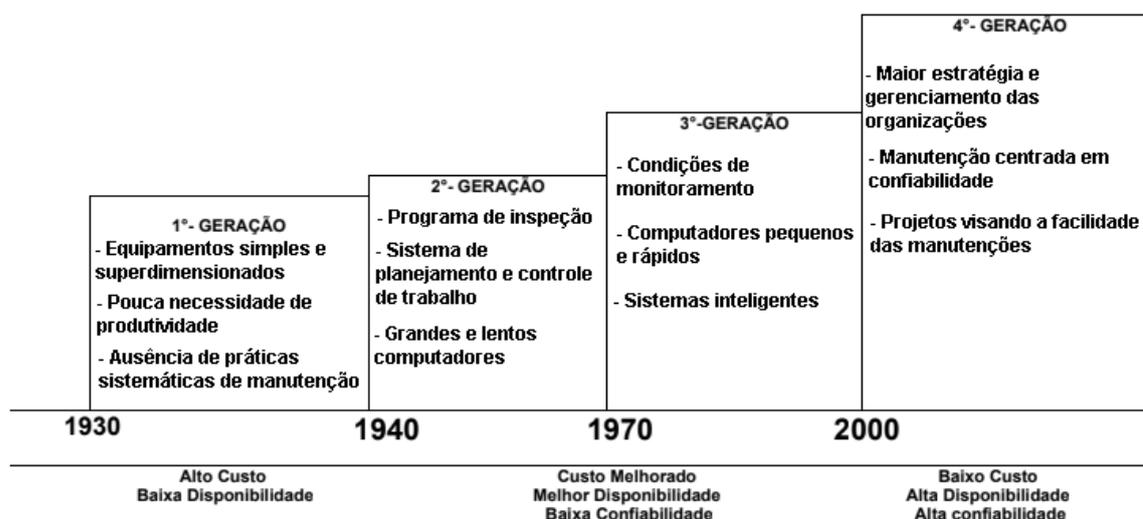
2.3.4 Quarta Geração:

Os avanços tecnológicos dentro da manutenção trouxeram para quarta geração mais sofisticação, ganhando mais importância quanto a disponibilidade, confiabilidade e a manutenibilidade, pois, a forma de executar as atividades tinham como objetivo garantir a disponibilidade dos ativos.

As manutenções preventivas e programadas que interferem na produção tendem a se reduzir e a manutenção corretiva não planejada tornou-se um indicador da ineficiência da manutenção. Os custos de manutenções diminuíram e otimizaram o tempo de trabalho, reduzindo as perdas nos setores.

A Figura 9 representa as principais características de cada geração e suas evoluções diante das técnicas adotadas.

Figura 9 – Evolução das técnicas de manutenção



Fonte: Adaptado de KARDEC; NASCIF, 2008.

2.4 Tipos de manutenção

Segundo MORO e AURAS (2007), existem dois tipos básicos de manutenção: a planejada e a não planejada.

- **Manutenção planejada** - Ocorre com planejamento e programação prévia, tendo como objetivo detectar, prevenir ou reduzir erros e falhas nos equipamentos. A ideia é eliminar possíveis ações não programadas, imprevistos ou problemas maiores.
- **Manutenção não planejada** - A manutenção não planejada ocorre quando não há uma programação de data e hora, podendo ocorrer a qualquer momento. Isso implica em custos elevados devido às perdas de produção e a danos maiores causados nos equipamentos.

Conforme Baldissarelli e Fabro (2019), geralmente são definidos três tipos de manutenção, sendo elas:

2.4.1 *Manutenção corretiva*

A manutenção corretiva ou reativa tem finalidade de corrigir uma falha, ou desempenho menor do que o esperado de um equipamento, colocando-o novamente em funcionamento conforme execução de sua devida função. A manutenção corretiva pode ser subdividida em dois tipos, sendo ela programada ou não programada.

2.4.2 *Manutenção preventiva*

É o tipo de manutenção destinada para reduzir a probabilidade de quebras, evitar falhas ou queda no desempenho, degradação do funcionamento de uma peça ou equipamento. Portanto, deve-se obedecer a um plano que foi estruturado e elaborado, diante do intervalo de tempo definido.

2.4.3 *Manutenção preditiva*

É a atuação realizada conforme modificações dos parâmetros de condição ou desempenho, em que o acompanhamento realizado obedece a uma ordem sistemática. Essa manutenção se destaca na capacidade de antecipar falhas, monitorando e indicando dados coletados diante das condições de funcionamento das máquinas e equipamentos em tempo real, informando possíveis desgastes ou processos de degradação.

2.5 *Criticidade dos ativos*

Segundo Chiquito e Veloso (2018), a criticidade dos ativos atribui-se conforme a importância do equipamento no processo produtivo. Dessa forma, é necessário definir o nível de prioridade na tomada de decisões diante da manutenção, podendo seguir três classificações descritas como:

- Categoria A = Equipamentos com criticidade alta, requer máxima atenção em todos os processos de manutenção;
- Categoria B = Equipamentos com criticidade moderada, requer atenção mas não necessita de todos os tipos de manutenção;
- Categoria C = Equipamentos com criticidade baixa, apenas manutenções de rotina são suficientes;

2.6 Análise dos Modos e Efeitos de Falhas - (FMEA)

O FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha é uma técnica da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) que ajuda na identificação e priorização de falhas potenciais dos equipamentos, sistemas ou processos. Com ele é possível criar estratégias e elaborar um referencial técnico para ações de manutenção, (GAIO, 2016). As falhas encontradas nos equipamentos são priorizadas conforme utilização do Número de Prioridade e Risco (RPN) composto pelo produto da Detecção, Ocorrência e Severidade.

2.6.1 Número de Prioridade de Risco - (RPN)

O Número de Prioridade e Risco (RPN), do inglês *Risk Priority Number* é composto pelo produto dos seguintes indicadores: Ocorrência, Severidade e Detecção. Conforme GAIO (2016), para indicar a gravidade da falha, sua frequência e o grau de detecção, adota-se uma escala de 1 a 10, em que 10 sinaliza a situação de maior intensidade. O levantamento das informações para elaboração do FMEA passa por uma equipe a qual fica responsável de debater e distinguir de forma periódica a situação do produto dos indicadores (ocorrência, severidade e detecção).

Segundo Faria (2021), a ocorrência é definida como a probabilidade de acontecer alguma falha no equipamento. Portanto, para avaliação da ocorrência é utilizada uma escala quantitativa de 1 a 10 conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Ocorrência

Nível de Rigor	Parâmetro	Nota
Chance Remota de Ocorrência	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez a cada 2 anos (Ou mais)	1
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por ano.	2
Falhas Esporádicas	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Semestre.	3
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Trimestre	4
Falhas Comuns	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Bimestre	5
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Mês	6
Falhas Corriqueiras	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez a cada 2 Semanas	7
	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Semana	8
Falhas Extremamente Persistentes	A falha costuma ocorrer no máximo 1 vez por Dia	9
	A falha costuma ocorrer varias vezes ao dia.	10

Fonte: FARIA, 2021.

Segundo Faria (2021), severidade é o índice que classifica a gravidade do efeito da falha no equipamento. Ela possui uma classificação estimada de 1 a 10, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Severidade

Nível de Rigor	Parâmetro	Nota
Impacto na máquina.	Caso a falha ocorra, o equipamento não demonstrará perda de performance	1
	Caso a falha ocorra, o equipamento demonstrará perda de performance, mais o processo não será afetado	2
Impacto no Processo	Caso a falha ocorra, o equipamento demonstrará perda de performance, e o processo também perderá performance.	3
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento e o processo, mais não causará paralisação na produção.	4
Impacto na Produção	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, de maneira recuperável	5
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, de maneira irre recuperável.	6
Impacto de Paralisação Total	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, causando lucro cessante, recuperável com aumento de capacidade (ainda que gere custo de retrabalho e hora extra)	7
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, causando lucro cessante irre recuperável.	8
Impacto a Segurança	Caso a falha ocorra, o equipamento poderá causar danos a segurança dos operadores e/ou colaboradores.	9
	Caso a falha ocorra, o equipamento poderá causar danos a segurança dos operadores e/ou colaboradores, e também danos ao meio ambiente.	10

Fonte: FARIA, 2021.

Segundo Faria (2021), a detecção representa a probabilidade de uma falha ser identificada por algum tipo de controle. Para isso utiliza-se um intervalo dentro do escopo do FMEA de maneira relativa. Ela também recebe uma classificação em uma escala quantitativa de 1 a 10 conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Detecção

Nível de Rigor	Parâmetro	Nota
A prova de Falha	Existe monitoramento por instrumento constante no equipamento para detectar a falha.	1
	Existe monitoramento por instrumento periódico no equipamento para detectar a falha	2
Medição Por Equipamento	A falha é facilmente detectada pelo operador pois faz parte de sua rotina conferir o equipamento com instrumento.	3
	A falha é facilmente detectada pelo mecânico pois faz parte de sua rotina conferir o equipamento com instrumento.	4
	A falha pode ser detectada pelo mecânico com uso de instrumento, mas não faz parte da rotina normal.	5
Inspeção Manual	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas retirando partes móveis do equipamento.	6
	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas retirando uma parte fixa do equipamento.	7
	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas desmontando o equipamento em loco.	8
	A falha pode ser detectada pelo mecânico apenas retirando o equipamento de loco e levando para oficina.	9
	Para detectar a falha, é necessário retirar o equipamento do local e enviar para laboratório ou oficina especializada.	10

Fonte: FARIA, 2021.

2.7 Confiabilidade

Segundo Kardec e Nascif (2008), confiabilidade é a probabilidade de um componente, equipamento ou sistema exercer sua função sem a presença de falhas por um período de tempo previsto, diante das condições de operações especificadas. Dessa forma, quanto menor a probabilidade de falha, maior a confiabilidade do sistema.

2.8 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

Com o avanço das tecnologias e dos processos de investigações de falhas, há técnicas para aplicação da confiabilidade, destacando a RCM (*Reliability Centered Maintenance*) ou MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade), (GAIO, 2016). Portanto, o RCM é uma estratégia para otimizar programas de manutenção, estabelecendo níveis mínimos seguros de manutenção dos equipamentos, e sua boa implementação aumenta o índice de confiabilidade, o tempo de atividade do equipamento e proporciona economias à empresa.

Segundo GAIO (2016), a utilização do MCC é determinar uma rotina de atividades com formato estratégico, mantendo a operação dos equipamentos a custos aceitáveis. Dessa forma, espera-se que um plano de manutenção eficiente permita atingir estes objetivos, prevenindo ou minimizando perdas funcionais.

2.9 Disponibilidade dos equipamentos

A disponibilidade associa-se a expressões como: "confiabilidade e manutenibilidade", "funcionamento regular", "condições de uso operacional", "atendimento continuado às funções especificadas", "desempenho das funções para as quais o equipamento foi projetado" e "atendimento a um processo de produção ou serviço", (VAZ, 2003).

Segundo RIBEIRO e FOGLIATTO (2009), a definição de disponibilidade se dá com a capacidade de um componente, máquina, equipamento ou sistema desempenhar sua função em determinado período ou instante de tempo, sendo estabelecido que na prática, é o percentual de tempo em que o sistema se encontra em condições normais de operação.

A NBR-5462 (1994) - Confiabilidade e manutenibilidade apresenta uma definição mais abrangente:

Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

Segundo Alberti (2020), para avaliar disponibilidade dos equipamentos é necessário determinar os indicadores como Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e Tempo Médio de Reparo (MTTR), para medir a confiabilidade dos equipamentos. A partir da utilização dos indicadores de manutenção, é possível adotar estratégias e ter um melhor gerenciamento das atividades, identificando gargalos, tendendo a solucionar problemas.

2.9.1 Tempo médio entre falhas - (MTBF)

A sigla MTBF significa *Mean Time Between Failures*, que em português quer dizer Tempo Médio Entre Falhas. Segundo GAIO (2016), o MTBF é muito importante no setor de manutenção, estando ligado à taxa de falhas e a vida útil dos equipamentos. Este indicador é crucial para medir desempenho especialmente de ativos críticos ou complexos, sendo medido pela soma dos valores de tempo observados sem a ocorrência de falhas e o número de observações. Portanto, quanto maior for o valor do MTBF melhor será, pois, isso quer dizer que o equipamento consegue operar por um intervalo de tempo maior sem a ocorrência de falhas.

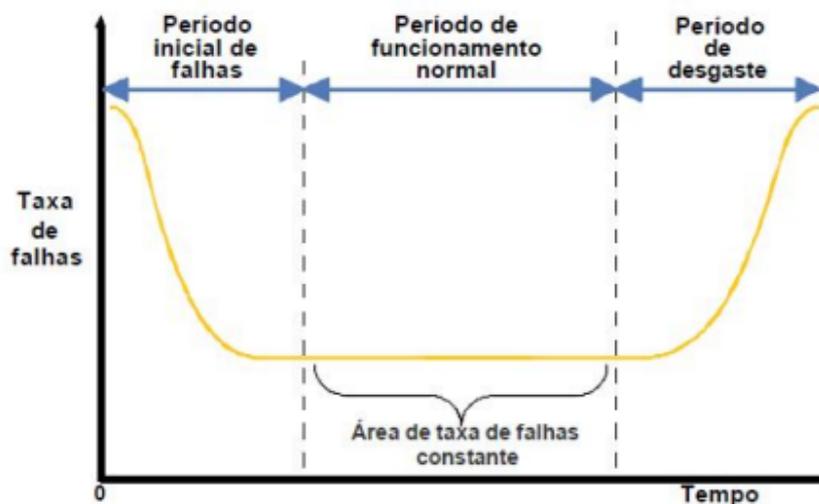
2.9.2 Tempo médio de reparo - (MTTR)

O termo MTTR significa *Mean Time to Repair* ou Tempo Médio de Reparo. É um importante indicador de desempenho e atua diretamente no indicador de disponibilidade dos equipamentos. O MTTR é uma medida básica da manutenibilidade de itens reparáveis, sendo parâmetro de suporte para determinação da melhor estratégia de manutenção dos componentes, (GAIO, 2016). Ele é o tempo médio necessário para corrigir um ativo com falha e devolvê-lo ao *status* de produção, sendo medido conforme soma dos valores de tempo observados sem a ocorrência de reparos.

2.9.3 Taxa de falha

Segundo GAIO (2016), a taxa de falhas é definida como o número de falhas ocorridas durante um certo tempo de operação. Portanto, de modo que estude a confiabilidade, a taxa de falhas gerencia a vida útil dos equipamentos. A Figura 10 representa a curva característica típica de vida de um equipamento. A curva da banheira classifica o comportamento dos equipamentos conforme sua taxa de falha, sendo usada como critério na tomada de decisões em estratégias de manutenções.

Figura 10 – Curva característica da vida de equipamentos (Curva da Banheira)



Fonte: Adaptado de SELLITTO, 2005.

A curva da banheira segundo Sellitto (2005) é utilizada para funções estratégicas, podendo definir três tipos de classificações comportamentais dos equipamentos:

- **Mortalidade Infantil:** É representada na Figura 10 como período inicial de falhas, é onde o valor da taxa de falhas é alta, porém, decrescente. Nesse período acontecem falhas prematuras, originadas por alguma deficiência durante os procedimentos. Portanto, adota-se a manutenção corretiva como estratégia desta fase, de modo que identifique e corrija as deficiências.
- **Vida Útil:** Indicada na Figura 10 como o período de funcionamento normal, é onde a taxa de falhas é sensivelmente menor e oscila ao redor de uma média constante. Nesse período acontecem falhas casuais e decorrentes de fatores menos controláveis, como, por exemplo: mau uso do equipamento, ultrapassagem de resistência ou fenômenos naturais imprevisíveis. Dessa forma, adota-se a manutenção preditiva, sendo realizada conforme a necessidade, baseado no resultado de inspeções periódicas.
- **Mortalidade Senil:** É representada na Figura 10 como período de desgaste, podendo ser dito como o fim da vida útil do equipamento. Neste período a taxa de falhas é crescente. São falhas causadas pelo envelhecimento, degradação mecânica, elétrica ou química e outros fatores. Portanto, adota-se a manutenção preventiva como estratégia para esta fase.

3 METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho, foram realizadas pesquisas diante do processamento do minério até o processo final na área da britagem e o desenvolvimento do estudo no setor de manutenção. Os dados foram coletados em uma empresa de mineração de calcário no setor de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), de modo em que as ordens de serviço eram abertas.

3.1 Determinação dos componentes da britagem

A metodologia empregada nos planos de manutenção são de suma importância. Utilizando o método de ordens de serviços planejadas e sistemáticas, a inspeção dos equipamentos na área da britagem acontece em um dia e, no dia posterior, é realizada a parada da planta para as correções necessárias identificadas na inspeção. Portanto, a inspeção deve ser executada para identificar as possíveis falhas e aproveitar ao máximo as paradas programadas. Dos equipamentos listados no início do trabalho, foi realizado a seleção da peneira vibratória como equipamento crítico do processo. Todo o calcário que passa no processo da britagem, passa também pela peneira vibratória, diante disso não tem como realizar o *bypass*, ou seja, pular etapas do processo. Outra característica da escolha do equipamento é o histórico das manutenções, as quais obteve maior índice de falhas, apresentando uma falha mecânica devido a quebra do quadro estrutural da peneira e uma falha elétrica que resultou na recolocação do sealtubo o qual é um sistema de proteção do cabeamento elétrico. A correção das falhas garante saúde e segurança aos envolvidos na operação do equipamento.

3.2 Criação do FMEA para equipamento crítico

Após seleção da peneira vibratória como equipamento crítico, foi realizado o FMEA destacando falhas mecânica, elétrica e de lubrificação do equipamento conforme mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 - Peneira Vibratória - FMEA

FMEA		Peneira Vibratória					Ação Preventiva Recomendada
Análise de Falha			Avaliação de Risco				
Modo de Falha	Efeito de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	RPN	
Mecânico	Quebra do quadro estrutural da peneira	Excesso de vibração	6	5	3	90	Análises preditivas afim de melhor o monitoramento, evitando falhas e quebras inesperadas do equipamento
Elétrico	Queima do motor elétrico	Sistema de projeção mal dimensionado	3	9	4	108	Análises termográficas para aferir temperatura principalmente das conexões, eliminando fugas elétricas
Lubrificação	Travamento do rolamento	Falta de lubrificação	2	5	8	80	Análise de óleo preventiva e preditiva, tendo uma periodicidade para verificar e avaliar a viscosidade

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As tomadas de ações diante das falhas conta com o auxílio dos profissionais especializados e gestores da área. A partir daí é realizada análises diante do Nível de Rigor apresentado, o parâmetro adotado nas possíveis falhas e a relação da nota, onde relacionando a Ocorrência, Severidade e Detecção obteve-se o resultado da análise de risco de cada falha apresentada.

Diante dos números obtidos é possível classificar os modos de falhas de acordo com a ordem prioritária. Quanto maior for o valor da relação do RPN, mais crítico é a falha e consequentemente mais rápido deverá surgir uma ação para ela.

Após analisar os números encontrados no RPN, foram descritas ações preventivas recomendadas para sanar os efeitos e causas das análises de falhas do equipamento.

3.3 Cálculo MTBF e MTTR

Para realizar o cálculo do MTBF e MTTR é preciso ter um gerenciamento sobre o tempo de funcionamento do equipamento e a quantidade de falhas que ele apresenta. Portanto, realizando um levantamento conforme um intervalo de tempo trimestral, a peneira vibratória apresenta cerca de 2 falhas ao longo de um trimestre.

Segundo Teles (2018), para calcular o MTBF utiliza-se a Equação 3.1.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo em Bom Funcionamento (em horas)}}{\text{Numero de Falhas}} \quad (3.1)$$

O resultado deste cálculo irá determinar o tempo de operação do equipamento sem a presença de falhas. Portanto, quanto maior for este valor do MTBF, melhor será.

A Equação 3.2 representa a forma que o MTTR é calculado segundo (TELES, 2018).

$$MTTR = \frac{\text{Somatorio de Tempos para Reparo}}{\text{Numero de Reparos}} \quad (3.2)$$

3.4 Cálculo da Confiabilidade e Disponibilidade

Segundo Teles (2018), para calcular a confiabilidade do equipamento utiliza-se a Equação 3.3 para encontrar primeiramente a Taxa de Falhas e posteriormente a Equação 3.4 para Cálculo da Confiabilidade.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (3.3)$$

$$C(t) = e^{-\lambda.t} \quad (3.4)$$

Onde:

- C = Confiabilidade;
- e = Número de Euler (2,71828);
- λ = Taxa de falhas (%);
- t = Tempo de projeção (h).

Portanto, caso o equipamento apresente diversas falhas seguidas, é possível averiguar a probabilidade do mesmo falhar nos determinados períodos. Conforme o cálculo é possível determinar a confiabilidade deste equipamento ao longo do trimestre.

Para calcular a disponibilidade, utiliza-se a relação do MTBF e MTTR, comparando o tempo de funcionamento do equipamento com o tempo de trabalho previsto. Diante dessa relação, têm-se a Equação 3.5.

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.5)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos cálculos foi possível encontrar o valor relacionando a confiabilidade da peneira vibratória e os demais indicadores de manutenção. Para representação dos cálculos foi adotado um plano trimestral referente aos meses de Agosto, Setembro e Outubro, analisando as 2 falhas apresentadas no equipamento diante dos meses, sendo uma delas de 3,5h e a outra de 3h.

4.1 Análise do MTBF e MTTR

Os valores encontrados diante do cálculo do MTBF e MTTR conforme as Equações 3.1 e 3.2 estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo do MTBF e MTTR

Equipamento	Horas em funcionamento	Tempo de paradas corretiva	Nº de falhas	MTBF	MTTR
Peneira	1829,5h	6,5h	2	914,75	3,25

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2 Análise da Confiabilidade e Disponibilidade

O cálculo da confiabilidade serviu para estimar a probabilidade do equipamento em funcionamento, de forma satisfatória naquele intervalo de tempo. Para Kardec e Nascif (2008), a missão da manutenção é garantir a confiabilidade e disponibilidade de um sistema ou instalação em boas condições. Dessa forma, analisando a confiabilidade do equipamento é possível ver se o mesmo conseguirá executar sua função conforme programado, sem o surgimento de falhas.

Na Tabela 2 têm-se os resultados dos cálculos realizados diante das Equações 3.3 e 3.4. Para encontrar a confiabilidade, foi relacionado o tempo de funcionamento da peneira diante dos dias em funcionamento, obtendo aproximadamente cerca de 76 dias completos.

Tabela 2 – Cálculo da confiabilidade

Equipamento	Taxa de falhas	Tempo em funcionamento	Confiabilidade (%)
Peneira	0,0010931	1829,5h	92%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Já o cálculo da disponibilidade do equipamento se deu conforme a Equação 3.5, afim de verificar a situação do equipamento em operação ao longo do trimestre. Na Tabela 3 é possível analisar os resultados encontrados do MTBF e MTTR, e o cálculo da disponibilidade do equipamento ao longo das 1829,5h de funcionamento.

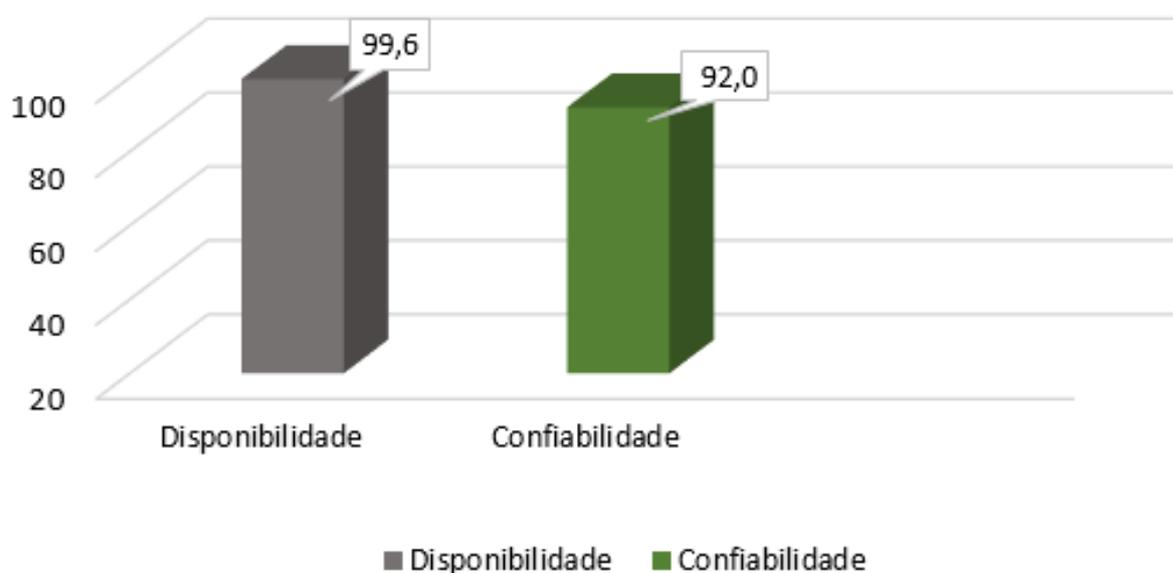
Tabela 3 – Cálculo da disponibilidade

Equipamento	MTBF	MTTR	Disponibilidade (%)
Peneira	1829,5	3,25	99,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Figura 11 apresenta o resultado encontrado referente a confiabilidade e disponibilidade da peneira vibratória.

Figura 11 – Disponibilidade e Confiabilidade - (%)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Diante dos resultados, percebe-se que por mais que o equipamento seja crítico, ele possui uma confiabilidade de operação alta, próximo de 100%, garantindo um bom funcionamento. A disponibilidade do equipamento também foi alta ao longo do trimestre, tirando como conclusão o bom aproveitamento diante do tempo de funcionamento da peneira.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do trabalho abordou o estudo da área de mineração, desde a extração no minério até sua utilização no processo da britagem, chegando a conclusão que o estudo da estratégia de manutenção é uma ferramenta importante para o processo.

A manutenção deve ser entendida como fator estratégico para as empresas, podendo reduzir custos totais do processo, ganho em disponibilidade e eficiência operacional. Se atentar nos indicadores de manutenção é de extrema importância.

Diante dos equipamentos da britagem, foi selecionado a peneira vibratória como equipamento crítico do processo, sendo possível realizar a aplicação de cálculos básicos de indicadores do MCC, porém, com obtenção de resultados importantes. Percebe-se que pelo fato da peneira ser um equipamento crítico, ela apresenta como ponto positivo um índice alto de 92% de confiabilidade e cerca de 99,6% de disponibilidade, características que são importantes para o funcionamento da planta.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 6177 -Transportadores contínuos - Transportadores de correia - Terminologia**. 1999. Disponível em: <<https://fdocumentos.tips/document/nbr-6177-1999-transportadores-continuos-transportadores-de-correia-.html?page=1>>. Acesso em: 25 abril 2022.
- ALBERTI, A. **Como calcular a disponibilidade de máquinas e equipamentos**. 2020. Disponível em: <<https://www.alsglobal.com/pt-br/news/artigos/2020/08/como-calcular-a-disponibilidade-de-maquinas-e-equipamentos>>. Acesso em: 05 de setembro de 2021.
- BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. **Manutenção preditiva na indústria 4.0**. 2019. 2019.
- CHIQUITO, A.; VELOSO, A. M. A. **Elaboração de um plano de manutenção utilizando conceitos de manutenção produtiva total**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- FARIA, G. **ESTUDO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO SETOR DE EXTRAÇÃO DE USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**. 2021. Acesso em: 10 de setembro de 2021.
- FELIZOLA, M. A. **Modelagem de um alimentador industrial vibratório e validação experimental**. 2012. Universidade de Taubaté, 2012.
- FILHO, A. de J. C. **Análise estrutural de um dispositivo anti-queda de materiais em um transportador de correias**. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, 2020. v. 12, n. 2, 2020.
- GAIO, E. D. **Proposta de um plano de manutenção de um equipamento industrial através da utilização de ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade**. 2016. 66 p. **Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica)—Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora**, 2016. 2016.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção função estratégica**, 2ª edição, 1ª reimpressão. **Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda**, 2008. 2008.
- LHOIST. **Nossa proposta global e local**. 2022. Disponível em: <https://www.lhoist.com/br_br>. Acesso em: 28 abril 2022.
- LUZ, A. B. d.; ALMEIDA, S. L. M. d.; BRAGA, P. F. A. **Cominuição: Britagem e moagem**. In: . [S.l.]: CETEM/MCTIC, 2018.

LUZ, J. A. M. d.; CARVALHO, S. C. d. Modelamento matemático de peneiramento vibratório (parte 1): dimensionamento clássico. **Rem: Revista Escola de Minas**, 2005. SciELO Brasil, v. 58, n. 1, p. 57–60, 2005.

METSO. **Britador - Metso Outotec**. 2022. Disponível em: <<https://www.mogroup.com/pt/produutos-e-servicos/plantas-e-equipamentos/britadores/>>. Acesso em: 29 abril 2022.

MORO, N.; AURAS, A. P. Introdução à gestão da manutenção. **Apostila do Curso Técnico de Mecânica Industrial–Cefet/SC. Florianópolis. Disponível em:< <http://docente.ifb.edu.br/paulobaltazar/lib/exe/fetc h. php>**, 2007. 2007.

MP. **PARA QUE SERVE ROMPEDOR HIDRÁULICO**. 2018. Disponível em: <<https://mpterraplenagem.com.br/rompedor-hidraulico/>>. Acesso em: 29 abril 2022.

MULAR, A. L.; BHAPPU, R. B. **Mineral processing plant design**. [S.l.]: Society for Mining Metallurgy, 1980.

NBR-5462, A. B. de N. T. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. [S.l.]: ABNT, 1994.

RIBEIRO, J.; FOGLIATTO, F. Confiabilidade e manutenção industrial. **Belo Horizonte: Elsevier**, 2009. 2009.

SAMUEL, P. d. A. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. [S.l.]: Saraiva, 2018.

SANTOS, M. **O Que é Mineração?** 2019. Disponível em: <<https://blog.jazida.com/o-que-e-mineracao/>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

(SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; ARAÚJO. Manutenção centrada em confiabilidade: aplicando uma abordagem quantitativa. **Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2002). p. 1–8, 2002).

SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Production**, 2005. SciELO Brasil, v. 15, p. 44–59, 2005.

SILVA, J. M. da. Estudo do fluxo de material fragmentado na mineração subterrânea, com o uso de modelos físicos. 2005. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SILVA, L. F. D. et al. Estudos sobre a manutenção preventiva e preditiva: História e perspectivas para indústria brasileira. **Anais do SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS (SINACEN)**, 2020. v. 5, n. 1, p. 94–111, 2020.

SOARES, B. D. et al. Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica. 2007. Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

TELES, J. **MTTR: Mean Time to Repair - O que é e como usar?** 2018. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

VARGAS, H. O. F.; LUZ, B. d. L.; LUIZ, S. M. d. A. **Britagem e Moagem**. 2010. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/732/1/CCL00260010.pdf>>. Acesso em: 19 de abril de 2022.

VAZ, J. C. **Manutenção de sistemas produtivos: um estudo sobre a gestão da disponibilidade de equipamentos**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2003.