



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia de Produção



Trabalho de Conclusão de Curso

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA PARA REVISÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO DE UMA MINERADORA

Mateus Batista Zanetti

**João Monlevade, MG
2019**

Mateus Batista Zanetti

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA PARA
REVISÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO
EM EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO DE UMA
MINERADORA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Profa. Dra. Mônica do Amaral

**Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2019**

Z28a

Zanetti, Mateus Batista.

Aplicação da metodologia FMEA para revisão das estratégias de manutenção em equipamentos de perfuração de uma mineradora [manuscrito] / Mateus Batista Zanetti. - 2019.

31f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Mônica do Amaral.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Manutenção - Confiabilidade. 2. Estratégias. 3. Ativos (Contabilidade). 4. Minas e mineração - Manutenção. I. Amaral, Mônica do. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 658.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ICEA

**FOLHA DE APROVAÇÃO****Mateus Batista Zanetti****APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA PARA REVISÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO EM UMA MINERADORA**

Membros da banca

Mônica do Amaral - Dra. - UFOP
Alexandre Xavier Martins - Dr. - UFOP
Eduardo Sanches da Silva Filho - Bacharel - UFOP

Versão final

Aprovado em 5 de Dezembro de 2019

De acordo

Professora Orientadora: Mônica do Amaral



Documento assinado eletronicamente por **Monica do Amaral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/12/2019, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0027686** e o código CRC **C15B3621**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.203865/2019-31

SEI nº 0027686

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço a todos meus familiares pelo apoio e carinho de sempre nessa jornada.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal de Ouro Preto pelos ensinamentos e suporte.

A minha orientadora Mônica pela paciência e ajuda.

Resumo

Os processos produtivos vêm se desenvolvendo cada vez mais nas organizações, através de avanços na tecnologia e utilização de sistemas e equipamentos mais automatizados. Nesse sentido, a confiabilidade e disponibilidade dos ativos têm função fundamental no pleno funcionamento e desempenho das operações. Desse modo, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) sugere uma metodologia estruturada para que a gestão da manutenção seja realizada com foco nas atuações preventivas e na saúde e estabilidade dos ativos e dos processos. Esse estudo propõe a aplicação da metodologia “FMEA – Failure Mode and Effects Analysis” - Análise do Modo e Efeitos de Falha – em um sistema específico dos equipamentos de perfuração de uma mineradora, para revisão das estratégias de manutenção e redução do número de falhas. Por meio do histórico de falhas desse equipamento, o sistema de travamento do mastro foi escolhido como objetivo principal do estudo. A tabela FMEA foi desenvolvida indicando os principais modos e feitos de falha dos componentes desse sistema, bem como a priorização dos mesmos através da mensuração do risco. A partir disso, revisou-se as estratégias de manutenção existentes, com o objetivo de alcançar os melhores resultados em termos econômicos e operacionais. A execução do método contribuiu para a otimização dos planos de manutenção, aumento da confiabilidade das perfuratrizes e redução no número de falhas corretivas do sistema em questão.

Palavras-chave: FMEA; Manutenção Centrada na Confiabilidade; Perfuratrizes; Mineração.

Abstract

The productive processes are developing more and more in organizations through advances in technology and the use of more automated system and equipment. In this sense, the reliability and availability of assets have a fundamental role in the performance of operations. Thus, Reliability Centered Maintenance (RCM) suggests a structured methodology for maintenance management to be performed with a focus on preventive actions and on the health and stability of assets and processes. This study proposes the application of the “Failure Mode and Effects Analysis” (FMEA) methodology to a specific mining equipment drilling system to review maintenance strategies and reduce the number of failures. Through the fault history of this equipment, the mast locking system was chosen as the main objective of the study. The FMEA table was developed indicating the main modes and failures of the components of this system, as well as their prioritization through risk measurement. From this, the existing maintenance strategies were reviewed, aiming to achieve the best results in economic and operational terms. The execution of the method contributed to the optimization of maintenance plans, increased reliability of drills and reduction in the number of corrective failures of the system in question.

Keywords: Logistics; FMEA; Reliability Centered Maintenance; Drill Rigs; Mining.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Fluxo de etapas do método	11
Figura 2 – Critérios de Severidade	12
Figura 3 – Critérios de Frequência	13
Figura 4 – Critérios de Detectabilidade	13
Figura 5 – Processo de decisão das estratégias	15
Figura 6 – Perfuratriz de Esteiras Grande Porte	18
Figura 7 – Gráfico de Pareto	19
Figura 8 – Travamento do Mastro	20
Figura 9 – Tabela FMEA	21
Figura 10 – Continuação tabela FMEA	22
Figura 11 – Revisão das estratégias de Manutenção	23
Figura 12 – Revisão das estratégias de Manutenção	24
Figura 13 – Soma dos scores de severidade	25
Figura 14 – Diagrama de caixa para frequência	26
Figura 15 – Grau de Risco	26
Figura 16 – Estratégias atuais	27
Figura 17 – Estratégias sugeridas	27

Lista de tabelas

Tabela 1 – Grau de Risco	13
Tabela 2 – Comparação entre as estratégias	28

Lista de abreviaturas e siglas

MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade

DF - Disponibilidade Física

MTBF - *Mean Time Between Failures*

FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

RPN - *Risk Priority Number*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
1.2	Justificativa	3
1.3	Organização do trabalho	3
2	REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1	Gestão da Qualidade	5
2.1.1	Confiabilidade	6
2.2	Manutenção Centrada na Confiabilidade	6
2.2.1	FMEA	6
2.3	Trabalhos Correlatos	8
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	10
3.1	Método	10
3.1.1	Definição do sistema a ser priorizado e início do preenchimento da tabela FMEA	11
3.1.2	Definição dos critérios para geração dos scores de severidade, frequência e probabilidade, e grau de prioridade de risco (RPN)	11
3.1.3	Revisão e criação das estratégias de manutenção	13
4	DESENVOLVIMENTO	17
4.1	Definição do sistema	18
4.2	Diagrama organizacional do sistema	20
4.3	Definição das funções, falhas funcionais, modos de falha, efeitos e causas, e atribuição do grau de risco	20
4.4	Revisão e criação das estratégias de manutenção	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS	30

1 Introdução

A percepção de um mercado cada vez mais competitivo vem influenciando as empresas a evoluírem, no sentido do desenvolvimento de processos produtivos mais eficientes, com maior qualidade e menores custos. Tal ascensão é impulsionada pelo avanço exponencial da tecnologia, à medida que surgem inovações em equipamentos cada vez mais modernos, e sistemas mais automatizados, modificando o patamar das operações e serviços prestados.

Sabe-se que o rendimento e desenvolvimento das atividades produtivas está diretamente relacionado à disponibilidade dos recursos que contribuem para o processo. Nesse sentido, tendo em vista um contexto atual de crescente exigência dos consumidores em produtos e serviços com maior qualidade e garantia de desempenho, a acessibilidade aos ativos e a integralidade na execução de suas funções são fatores fundamentais para o nível das operações. Além disso, o impacto financeiro é evidente, uma vez que a utilização de metodologias como o “just-in-time”, presente na maioria das empresas, por exemplo, demonstram ainda mais a importância da disponibilidade dos equipamentos, já que com a utilização de estoques mínimos para a produção, qualquer interrupção por falha nos ativos pode interferir em toda a linha.

Desse modo, a Manutenção tem ocupado uma relevante função estratégica nas organizações, uma vez que a confiabilidade dos recursos impacta diretamente na eficiência do processo produtivo. O entendimento da Gestão da Manutenção com foco no pleno desempenho dos ativos implica em sua maior disponibilidade física para o processo, contribuindo para a sustentação da capacidade produtiva e na habilidade em atender as demandas dos clientes, com alta qualidade e baixo custo.

Nesse sentido, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), apresenta-se como metodologia dominante na geração mais recente da história da Manutenção, com o intuito de suprir as atuais necessidades das indústrias e processos produtivos globais. Esse método permite decidir as condições sobre as quais a manutenção tecnicamente é definida como factível e efetiva, e assim, através da técnica de Análise de Modos e efeitos de Falhas (FMEA), preservar as funções do sistema para elevar a eficiência da manutenção. É importante salientar que essa metodologia diferencia-se de outras por se tratar de um modelo estruturado e sistemático que tem o foco nos modos de falha e o tratamento de suas causas, a fim de garantir maior produtividade da gestão da manutenção.

A empresa estudada utiliza duas tradicionais medidas sugeridas pela MCC que indicam confiabilidade e manutenibilidade dos ativos. A primeira é a disponibilidade física (DF) que apresenta o tempo em que o equipamento esteve disponível para o cumprimento de suas funções em razão de seu tempo total (Horas Calendário). A outra é o período médio entre falhas (MTBF, do inglês “Mean Time Between Failures”), ou seja, calcula a razão entre o tempo total de operação da máquina e o número de falhas ocorridas. Ambos indicadores contribuem para o

controle e acompanhamento do processo de Gestão da Manutenção na organização.

O presente trabalho planeja a aplicação de metodologias propostas pela Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) a fim de elevar a confiabilidade de equipamentos de Perfuração, importantes no processo de extração de minério de ferro, de uma grande empresa do ramo de mineração. Através do entendimento dos principais modos de falha desses ativos, bem como suas causas e efeitos, é possível propor uma revisão das estratégias de manutenção com o objetivo de auxiliar em tomadas de decisões mais assertivas. Desse modo, espera-se otimizar a disponibilidade desses equipamentos, preservar suas funções, e reduzir custos relacionados ao ciclo de vida.

O entendimento do problema na organização analisada permitiu a percepção de três principais pontos que envolvem a motivação do trabalho. Em primeiro lugar é importante para a saúde do equipamento, que a equipe de manutenção atue de maneira sistemática nas falhas, ou seja, concentrar suas intervenções nas causas dos problemas e menos nas consequências, prolongando sua vida útil. Para isso, além de possuir controles e planejamentos bem definidos, compreender as estratégias de tomadas de decisões estruturadas é de suma importância, a fim de determinar o melhor momento para realizar ações corretivas, preventivas, preditivas e periodicidade de inspeções, por exemplo.

Outro ponto considerável condiz sobre o comprometimento da equipe de manutenção em relação às diretrizes estratégicas definidas. Ainda que exista uma gestão que determine a condução do processo de manutenção dos ativos, muitas vezes a realização disso por parte dos executores não é feita de forma completa e sistemática, ou por falta de instruções adequadas, controles ou conhecimentos específicos para realização das atividades.

Por último, deve-se ressaltar que o ativo possui características intrínsecas que podem interferir em sua própria confiabilidade. Falhas oriundas do processo de montagem ou de fabricação dos componentes, muitas vezes interferem na vida útil e no desempenho dos equipamentos. Para isso, é importante que a organização desenvolva controles eficientes, principalmente no que tange a relação com fornecedores e fabricantes, a fim de implementar melhorias e intervenções em garantia.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Tem-se por objetivo, a partir da aplicação do FMEA, propor um conjunto de estratégias de manutenção a fim de auxiliar a tomada de decisões do setor de Manutenção de Equipamentos de Mina de uma Mineradora.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Compreender a rotina e estratégias de manutenção realizadas nas perfuratrizes;

- Conhecer o comportamento histórico de falhas dos equipamentos de perfuração;
- Conhecer o funcionamento dos sistemas mais críticos do equipamento;
- Determinar os modos e efeitos das falhas, funções, níveis de severidade dos componentes através da aplicação da metodologia FMEA;
- Definir critérios para priorização das decisões estratégicas.

1.2 Justificativa

A partir do desenvolvimento de um trabalho que garanta, principalmente maior confiabilidade aos equipamentos de perfuração, percebe-se inúmeros ganhos para a organização sob os aspectos operacionais, produtivos, econômicos, socioambientais e entre outros.

A otimização do desempenho das funções dos ativos está diretamente associada a excelência operacional, não apenas do setor de Manutenção, mas de todo contexto produtivo. Uma vez que a maior confiabilidade permite que a rotina de manutenção seja programada e controlada de maneira realmente efetiva, fatores como, dimensionamento de mão de obra para atividades, gestão de componentes e recursos e periodicidade de intervenções mecânicas são sistematicamente organizadas. Desse modo, como consequência espera-se que as fases do processo produtivo que dependem das máquinas em questão, possam operar integralmente, impactando positivamente na movimentação da Mina.

Tratando-se das circunstâncias econômicas, fundamentado em uma Gestão da Manutenção mais organizada, observa-se grande vantagem econômica em preservar falhas ou perdas catastróficas nos equipamentos. A execução de planos de manutenção bem estruturados, baseado em inspeções preventivas, por exemplo, permite atuação antecipada nos ativos, minimizando custos exorbitantes com reformas corretivas de componentes importantes ou aquisição de novos, em decorrência de falhas inesperadas.

Por fim, existem os ganhos relacionados a conservação do meio ambiente e segurança dos indivíduos inseridos no âmbito organizacional, bem como o cumprimento das respectivas normas regulamentadoras. Sabe-se que o maior controle da manutenção e previsibilidade de falhas certamente contribuirá para evitar que certas avarias signifiquem acidentes com consequências a saúde das pessoas envolvidas. Além disso, a conservação do ativo e seus componentes minimiza as ocorrências de danos ao meio ambiente, oriundos de vazamentos de óleos, incêndios, poluição do ar, poluição sonora, entre outros.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho foi dividido da seguinte maneira: o Capítulo **I** traz uma breve introdução, de forma a contextualizar a análise como um todo, apresentando seus objetivos, justificativa

e o problema de estudo. O Capítulo 2, diz respeito à revisão teórica na qual este trabalho foi construído. O Capítulo 3 é explicitada a metodologia utilizada para a execução e sustentação na qual este trabalho foi construído. O Capítulo 4 aborda sobre a aplicação da metodologia FMEA nas Perfuratrizes. O Capítulo 5 traz os resultados e discussões obtidas durante a aplicação da metodologia, e, por fim, as conclusões no Capítulo 6.

2 Revisão de Literatura

2.1 Gestão da Qualidade

A Gestão da Qualidade é caracterizada como um modelo de gestão fundamental para as organizações, já que atua em todas as fases da cadeia produtiva, com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento dos processos para que se tornem mais conforme as diretrizes estratégicas. Para [SILVA e PESO \(2001\)](#) a qualidade, em um contexto de mercado cada vez mais globalizado e competitivo, é uma condição imprescindível para as empresas de qualquer ramo ou porte permanecerem no mercado a partir de níveis mínimo de lucratividade. Sob outro aspecto, a definição de qualidade por grande parte dos autores envolve foco nos clientes e na melhoria contínua dos processos produtivos. Segundo [Brocka \(1994\)](#), a qualidade é marcada por princípios, ideias e crenças que buscam em última instância a satisfação dos clientes, dos trabalhadores (administração e funcionários), dos fornecedores e dos acionistas. Segundo [Oliveira \(2004\)](#), os princípios da gestão da qualidade são: total satisfação dos clientes; gerência participativa; desenvolvimento de recursos humanos; constância de propósitos; aperfeiçoamento contínuo do sistema (kaizen); gestão e controle de processos; disseminação de informações; gestão das interfaces com agentes externos; delegação; assistência técnica; e garantia da qualidade.

O envolvimento de todos os funcionários e fornecedores é vital para efetiva disseminação da qualidade pela organização. Os líderes têm função fundamental nisso, pois são os responsáveis por conduzir e suportar as equipes ao atingimento dos objetivos estratégicos, a partir da melhoria contínua e solução de problemas. [Oliveira \(2004\)](#) considera ainda, que um sistema sustentável precisa da dedicação constante dos colaboradores da empresa no processo de melhoria e deve necessariamente contar com o apoio da alta cúpula. Reitera ainda que a sequência natural desse processo deve levar a uma mudança de atitudes em todos os níveis da empresa e, se não ocorrer, certamente os empregados e chefes continuarão a ver a qualidade como uma função isolada do departamento de controle de qualidade.

Aplicado ao cenário industrial, a Gestão da Qualidade tem como foco o processo produtivo, a partir de onde é possível a geração de um produto perfeitamente adequado ao uso. Assim, como definido por [Paladini \(2000\)](#), as ações para melhorias nos processos devem gerar maior eficiência, produtividade e eficácia, a fim de alcançar o conceito elementar da qualidade nesse ambiente de “ausência de defeitos”, permitindo a adequação do produto à finalidade que se destina. A fim de sustentar isso, [Alliprandini e Rozenfeld \(1996\)](#) ressalta que a garantia da qualidade é uma função da empresa que tem como finalidade confirmar que todas atividades relacionadas com a qualidade estejam sendo conduzidas conforme os procedimentos especificados.

2.1.1 Confiabilidade

A confiabilidade, por sua vez, uns dos conceitos fundamentais observado nas dimensões da qualidade, é definida por Scapin (1999), como a probabilidade de um sistema ou de um produto executar sua função de maneira satisfatória, a partir de certo intervalo de tempo e operando de acordo com condições específicas. Além disso, segundo Firmino et al. (2004), a confiabilidade é uma ferramenta que permite a elaboração de estratégias de manutenção, já que pretende garantir o bom funcionamento do produto, em detrimento do seu tempo de uso e dos fatores que podem influenciar seu desempenho.

2.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade

Segundo a NBR (1994) a manutenção é definida como combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Para autores como Kardec e Nascif (2001), a manutenção além de garantir a função do ativo, deve contribuir para maior confiabilidade e disponibilidade do item físico ou instalação, atendendo ao processo com segurança, preservando o meio-ambiente e com custos adequados.

Para Wireman (1998), a MCC representa uma evolução da manutenção tradicional, que tem como principal objetivo reduzir os custos da manutenção, enfocando as funções mais importantes do sistema, evitando ou removendo tarefas de manutenção que não são estritamente necessárias. O foco da MCC está na preservação da função do sistema, ao invés de restabelecer o item físico para uma condição ideal, segundo Ben-Daya (2000).

De acordo com Moubray (2000), os resultados esperados com a implementação da MCC são:

- Maior segurança humana e proteção ambiental;
- Melhoria do desempenho operacional em termos de qualidade;
- Maior efetividade do custo da manutenção;
- Aumento da vida útil dos itens físicos mais dispendiosos;
- Maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção;
- Melhoria do trabalho em equipe.

2.2.1 FMEA

O FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), análise de modos e efeito de falha é uma técnica de grande importância no contexto da Manutenção Centrada na Confiabilidade, pois visa maior confiabilidade dos equipamentos a partir do conhecimento de suas falhas potenciais. De

acordo com [Kardec e Nascif \(2001\)](#), o FMEA é uma abordagem que contribui na identificação e priorização das falhas e causas potenciais em equipamentos, componentes, sistema e processos, ou seja, hierarquiza as possíveis falhas e propõe ações preventivas. O uso consistente do FMEA pode permitir a identificação de problemas que não haviam sido antecipados e, conseqüentemente, ao estabelecimento de prioridades para a correção ([Palady \(1997\)](#)).

Segundo [Siqueira \(2012\)](#) são considerados os seguintes aspectos do componente para a construção da tabela FMEA:

- Função: o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado;
- Falha: interrupção ou alteração da capacidade do item em desempenhar sua função esperada;
- Modo de falha: um evento ou condição física que causa uma falha funcional;
- Efeitos provocados pelas falhas: o que acontece quando um modo de falha se apresenta;
- Grau de risco dos efeitos percebidos.

A priorização das falhas apresentadas no FMEA é feito através de três parâmetros: severidade, definida pela gravidade do modo de falha e de acordo com seus impactos relacionados a meio ambiente, segurança, produção e custo; ocorrência, frequência com que o modo de falha acontece; e detecção, grau de complexidade para identificar a falha. A multiplicação desses três índices resulta no RPN (Grau de Prioridade de Risco), sendo que quanto maior seu valor, maior a intensidade da falha em questão.

Por fim, como definido por [Xenos \(1998\)](#), tem-se como objetivo final dessa ferramenta, a elaboração de um plano integrado de manutenção que eleve a qualidade e produtividade das empresas. As estratégias de manutenção são definidas a partir de uma lógica de decisão estruturada pela MCC, em que são priorizadas as ações que evidenciem maiores ganhos em confiabilidade, baixo custo, redução dos riscos de saúde e segurança e eficiência operacional. Segundo [Siqueira \(2012\)](#) as principais atividades de manutenção são:

- Serviço operacional (SO): atividades simples e repetitiva necessária ao funcionamento do processo, como: substituição de peças com baixa complexidade, restauração de pequenos defeitos, detecção de anormalidades e imprecisões, lubrificação de componentes e limpeza do equipamento.
- Inspeção preditiva (IP): inspeção programada em um item para encontrar indícios específicos de falhas potenciais. Não contempla a intervenção corretiva tomada para restaurar a funcionalidade. São utilizadas técnicas específicas para monitorar variações de temperatura, mudanças no aspecto físico, emissão de ondas acústicas e vibração, liberação de partículas em óleo e fluídos.

- Inspeção funcional (IF): Tarefa executada em intervalos específicos para identificar a ocorrência de uma falha funcional que não seja evidente para a equipe de operação em suas atividades normais.
- Restauração preventiva (RP): Recuperação do estado de um item antes de uma determinada idade limite
- Substituição preventiva (SP): Remover um item de operação e o substituir antes de uma determinada idade limite.
- Mudança de projeto (MP): atividades que envolvam alterações nas especificações funcionais do item, de natureza construtiva ou operacional.
- Reparo funcional (RF): Decisão de operar o item até a ocorrência de uma falha para então realizar a restauração ou substituição

2.3 Trabalhos Correlatos

A abordagem de metodologias relacionadas a MCC, bem como a aplicação do FMEA, é tratada de maneira bem abrangente na literatura, englobando diferentes processos produtivos. [Zaions \(2003\)](#) apresenta uma revisão de vários conceitos, ferramentas e métodos de manutenção voltados à MCC, bem como a sistemática de implementação sob o ponto de vista de vários autores. Em seguida, é explorado o estudo de caso no setor de preparação de polpas da fábrica de pasta químico-mecânica (FPQM) da Celulose Irani S.A, a partir da aplicação do FMEA, com intuito de manter as funções dos itens físicos do processo em questão. Percebeu-se a importância do processo de melhoria contínua em relação a metodologia, de acordo com a evolução da experiência operacional dos colaboradores. Além disso, o trabalho evidenciou a viabilidade da ferramenta para a definição de planos de manutenção e aperfeiçoamento do conhecimento sobre o sistema em estudo, mesmo quando não se observa informações históricas concisas sobre falhas dos componentes.

[Braille e ANDRADE \(2013\)](#) aplicaram o FMEA em equipamentos de costura industriais. Inicialmente, foi feita uma coleta de dados das falhas desses itens, a fim de compreender os sistemas a serem priorizados para análise. Ademais, a distribuição de Weibull foi utilizada para identificar em que fase da curva da banheira esses equipamentos estavam. Por fim, a metodologia beneficiou a prevenção de possíveis falhas, definição de prioridades das falhas através do índice RPN, além de sinalizar as melhores estratégias de manutenção para os equipamentos analisados.

[LINO \(2010\)](#) aplicou o método FMEA em turbinas a vapor e sistema de acionamento de uma usina sucroalcooleira, equipamentos com característica crítica para a produção. Após as implantações de ações previamente planejadas e extraídas da tabela final da ferramenta, obteve-se diversos ganhos para o processo no geral, como: redução de horas de equipe de manutenção; diminuição de paradas corretivas não planejadas para regulagem de turbinas; redução de troca

de peças; diminuição de possíveis riscos de acidentes; redução de gastos com consultores e especialistas para análise de falhas nas turbinas por desalinhamentos; falhas na lubrificação de acoplamentos, entre outros.

Por fim, [Herpich e Fogliatto \(2013\)](#) desenvolveram a metodologia FMECA em equipamentos críticos de um sistema de controle e instrumentação de um turbo gerador. A tabela do método foi elaborada com enfoque na classificação dos modos de falha mais críticos a partir dos critérios de segurança, meio ambiente, perdas de produção e custos de manutenção. Com isso foi possível definir as melhores estratégias de manutenção possíveis, otimizando os planos de manutenção, reduzindo custos com manutenção corretiva e preventiva e elevando a confiabilidade dos equipamentos.

Contudo, é possível perceber a carência em trabalhos relacionados a implementação prática de ferramentas sobre a MCC em empresas de mineração, mais especificamente em equipamentos envolvidos diretamente no processo de extração de mineral. Assim cria-se a perspectiva, a partir desse trabalho, de estudos que discutam sobre adoção de novas estratégias baseadas na gestão da manutenção para esse setor.

3 Metodologia de pesquisa

3.1 Método

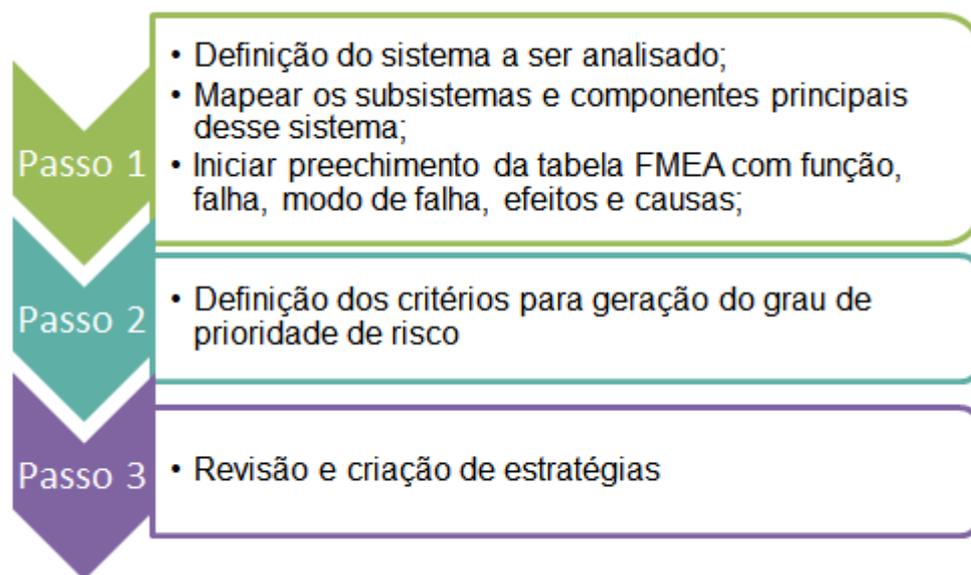
A pesquisa realizada nesse trabalho envolveu a aplicação de uma metodologia em um contexto específico e pouco explorado pelos pesquisadores da área. Nesse sentido, a pesquisa pode ser definida como aplicada, com características quantitativas e qualitativas, já que propõe a aplicação de uma metodologia para resolver problemas concretos, a partir da mensuração de dados e indicadores. De acordo com [Thiollent et al. \(2009\)](#) a pesquisa aplicada concentra-se em torno dos problemas presentes nas atividades das instituições, organizações, grupos ou atores sociais e está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções. Esse tipo de pesquisa tem o foco principal em gerar impactos tanto para a dimensão acadêmica, através da divulgação do conhecimento científico, quanto para várias outras dimensões como sociais, econômicas, entre outras.

O estudo de caso, por sua vez, é uma das abordagens metodológicas sugeridas para execução de projetos de pesquisa aplicada. Segundo [Yin \(2001\)](#), o estudo de caso é escolhido como a estratégia de pesquisa quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em alguma situação da vida real. Para o problema em questão, o estudo de caso será utilizado pelo fato de tratar-se de um caso específico, bem delimitado e contextualizado de tempo e lugar, o que permite a coleta de informações.

A pesquisa caracteriza-se por uma combinação entre evidências qualitativas e quantitativas. O desenvolvimento do formulário FMEA será feito a partir da coleta de dados baseada em entrevistas com equipe de manutenção, observações em campo, informações sobre os componentes constados no sistema SAP, banco de dados de histórico de falhas, planos de manutenção documentados e revisão de literaturas técnicas. Com isso, foi feita a codificação desses dados, de maneira a permitir o desenvolvimento de análises estatísticas sobre as informações.

As etapas descritas e utilizadas na condução do trabalho, ilustradas na figura [II](#) foram baseadas no livro *Manutenção Centrada na Confiabilidade* (SIQUEIRA, 2012), em que o autor explicita de forma bem detalhada os principais conceitos da MCC, e o manual para aplicação do FMEA. Deve-se ressaltar que para a realização desse trabalho foi necessário realizar adaptações sobre o método original, a fim de atender certas necessidades da organização e adequar-se ao seu contexto operacional.

Figura 1 – Fluxo de etapas do método



Fonte: Adaptado de [Siqueira \(2012\)](#)

3.1.1 Definição do sistema a ser priorizado e início do preenchimento da tabela FMEA

A partir do histórico de falhas da organização, identificar o sistema e conjunto com maior número de falhas, a ser priorizado para o estudo, e a listagem de seus conjuntos e itens/componentes. A análise foi feita pelo o número de falha na frota de perfuratrizes e não pelo tempo de manutenção, já que o indicador de confiabilidade identificado com valores insatisfatórios, Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), é calculado a partir do número de intervenções corretivas nos equipamentos. Foi utilizado o software Microsoft Excel para construção dos gráficos de colunas que sustentaram as análises. Além disso, nessa etapa ocorreu a inserção na tabela FMEA, das funções, falhas funcionais e modos e efeitos das falhas, para cada componentes de cada conjunto analisado. O preenchimento foi feito a partir do banco de dados do histórico de falhas da frota de perfuratrizes, e reuniões entre responsáveis por diferentes áreas da Manutenção.

3.1.2 Definição dos critérios para geração dos scores de severidade, frequência e probabilidade, e grau de prioridade de risco (RPN)

Em primeiro lugar definiu-se que a severidade seria medida pelos os efeitos das falhas na segurança dos colaboradores, danos ambientais, impactos nas operações e custos de manutenção para realizar os reparos. A atribuição das notas para as categorias de severidade foi baseada nos parâmetro definidos por [Siqueira \(2012\)](#):

- Efeito catastrófico: aquele que pode causar morte de pessoas, perda do sistema principal em decorrência de explosões ou incêndios, por exemplo, ou grande dano ao meio ambiente;

- Efeito crítico: ferimentos severos aos seres humanos ou dano significativo ao sistema ou ao meio ambiente
- Efeito marginal: ferimentos leves aos seres humanos ou dano de pequeno porte no sistema ou meio ambiente
- Efeito mínimo: consequências operacionais, meio ambiente e segurança abaixo dos níveis máximos exigidos em normas ou leis.
- Efeito insignificante: falha insuficiente para causar danos aos seres humanos, sistema, meio ambiente e contexto operacional. As descrições foram baseadas em discussões com os colaboradores e normas e diretrizes estratégicas da organização

As descrições mostradas na Figura 2 abaixo foram baseadas em discussões com os colaboradores e normas e diretrizes estratégicas da organização. O score de severidade é obtido através da média aritmética entre os valores atribuídos.

Figura 2 – Critérios de Severidade

NÍVEIS DE SEVERIDADE		
NÍVEL	SEVERIDADE	DESCRIÇÃO SEGURANÇA
1	Insignificante	Sem Consequência
2	Mínimo	Acidente com atendimento ambulatorial (FAC)
3	Marginal	Acidente sem afastamento (SAF)
4	Crítico	Acidente com afastamento (CAF)
5	Catastrófico	Acidente fatal
NÍVEL	SEVERIDADE	DESCRIÇÃO MEIO AMBIENTE
1	Insignificante	Sem Consequência
2	Mínimo	Geração de danos reversíveis com ações imediatas
3	Marginal	Geração de danos reversíveis com ações mitigadoras
4	Crítico	Risco de geração de danos irreversíveis
5	Catastrófico	Geração de danos irreversíveis
NÍVEL	SEVERIDADE	DESCRIÇÃO OPERACIONAL
1	Insignificante	Sem impacto
2	Mínimo	Até 1 dia de tempo de reparo
3	Marginal	Até 3 dias de tempo de reparo
4	Crítico	Até 1 semana de tempo de reparo
5	Catastrófico	Mais de 1 semana de tempo de reparo
NÍVEL	SEVERIDADE	DESCRIÇÃO ECONÔMICA
1	Insignificante	Sem Impacto
2	Mínimo	Custo de reparo menor que US\$10.000
3	Marginal	Custo de reparo entre US\$10.000 e US\$100.000
4	Crítico	Custo de reparo entre US\$100.000 e US\$1.000.000
5	Catastrófico	Custo de reparo maior que US\$1.000.000

Fonte: Autor

O próximo passo é a avaliação da frequência da falha, conforme Figura 3.

Figura 3 – Critérios de Frequência

NÍVEIS DE FREQUÊNCIA		
NÍVEL	FREQUÊNCIA	DESCRIÇÃO
1	Muito Baixa	1 ou mais falhas na vida do ativo
2	Baixa	1 ou mais falhas por ano
3	Moderada	1 ou mais falhas por mês
4	Alta	1 ou mais falhas por semana
5	Muito Alta	1 ou mais falhas por dia

Fonte: Autor

Em sequência, sinaliza-se o grau de detecção do modo de falha em questão, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Critérios de Detectabilidade

NÍVEIS DE DETECTABILIDADE		
NÍVEL	DETECTABILIDADE	DESCRIÇÃO
1	Muito Alta	Detecção pelo operador
2	Alta	Detecção por inspeção sensitiva
3	Moderada	Detecção por inspeção preditiva
4	Difícil	Detecção efeito
5	Muito Difícil	Sem estratégia de detecção

Fonte: Autor

Por fim é calculado o RPN, através da multiplicação entre os valores percebidos para severidade, frequência e detectabilidade, sendo assim possível priorizar as tratativas às falhas com o maior valor de RPN, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Grau de Risco

RPN	Risco
1 a 50	Baixo
51 a 100	Médio
101 a 500	Alto
501 a 1000	Muito Alto

Fonte: Autor

3.1.3 Revisão e criação das estratégias de manutenção

A etapa inicial dessa fase é identificar a estratégia atual aplicada ao modo de falha em questão. Essa verificação é feita através de consultas aos registros nos planos de manutenção e experiência da equipe de execução da manutenção.

A definição da estratégia conforme sugestão da MCC, envolve um processo de decisão estruturado baseado nos seguintes objetivos segundo Siqueira (2012):

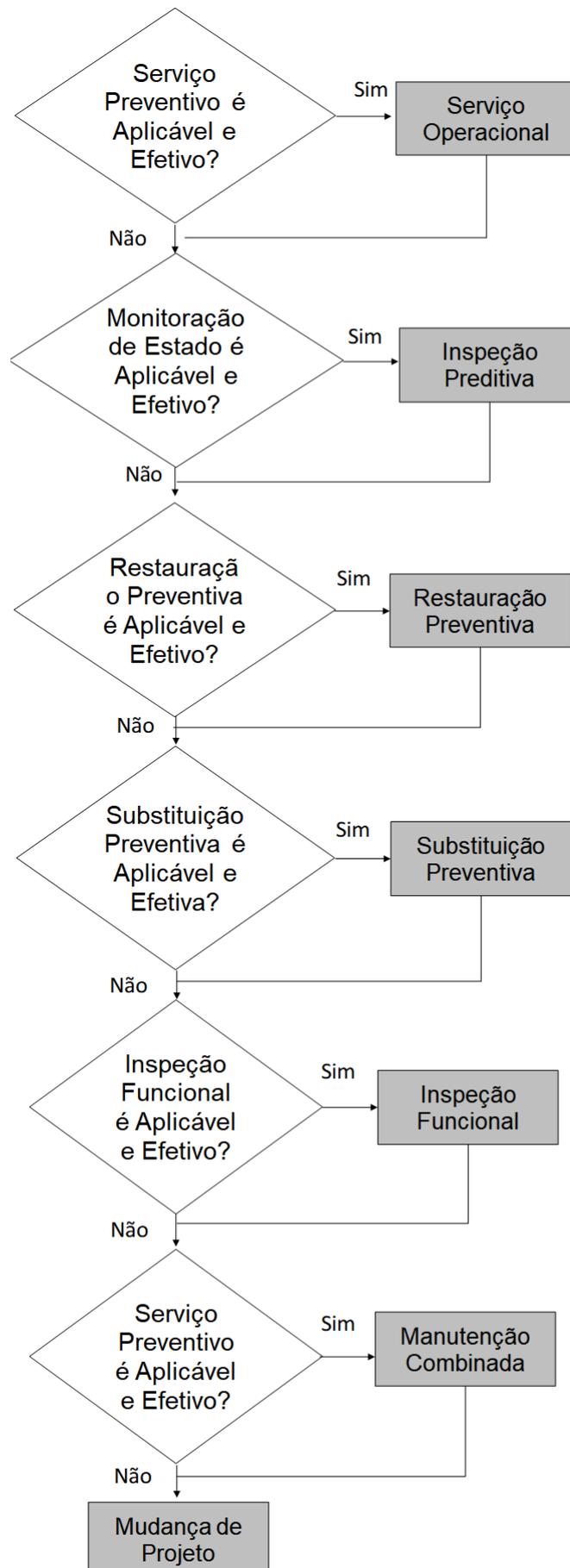
- Prevenir modos de falha;

- Reduzir a taxa de deterioração;
- Detectar evolução das falhas;
- Descobrir falhas ocultas;
- Suprir necessidades e consumíveis do processo;
- Reparar o item após a falha.

É evidente que a estratégia que atue na prevenção de ocorrência do modo de falha será sempre a desejada, já que por esse meio percebe-se maiores ganhos em confiabilidade. Contudo, muitas vezes por questões técnicas, operacionais ou financeiras, não é possível atuar de tal modo, ainda assim, é crucial para o contexto da MCC que exista uma estratégia bem definida e planejada para as falhas.

A lógica de decisão utilizada pela MCC sugere uma ordem de preferência entre as atividades que serão aplicadas ao modo falha em análise, priorizando a maximização dos resultados operacionais, econômicos e de saúde e segurança. Esse processo acontece com a resposta pela equipe de especialistas envolvidos, a um conjunto de questões objetivas, conforme o fluxo da Figura 5:

Figura 5 – Processo de decisão das estratégias



Por fim, tendo em vista a estratégia atual e a estratégia sugerida é importante que a equipe de manutenção compare e interprete os dois panoramas. Assim, espera-se obter maior assertividade para a decisão da aplicabilidade das atividades, a fim de resultar no maior impacto possível para a confiabilidade dos componentes.

4 Desenvolvimento

A mineração é um processo fundamental no mundo moderno, uma vez que o minério de ferro é utilizado como matéria prima principal para a fabricação de itens indispensáveis à sociedade. No Brasil, especificamente, a atividade exerce grande influência econômica para o país, já que representa uma grande fatia do PIB brasileiro. Deve-se ressaltar que o Brasil é um dos países que possui maior reserva natural de minério no mundo, concentrada principalmente nas regiões sudeste e norte. A maior parte dessa produção é exportada via transporte marítimo, para os mercados chineses e japoneses.

A empresa estudada possui sua sede no Brasil e está presente em outros 37 países, sendo uma das maiores produtoras de minério de ferro no mundo. A Mina considerada como objeto desse estudo, está presente no estado de Minas Gerais, e é responsável por importante parte da produção de minério da região. Nessa planta são realizados os processos extração do material, beneficiamento e escoamento da produção via transporte ferroviário para as principais zonas portuárias do país.

De maneira sucinta, o processo de extração do minério acontece inicialmente com o desmonte do solo, através de perfurações no mesmo e utilização de explosivos. Com o material mais fragmentado, as máquinas escavadeiras e pás carregadeiras movimentam o material para os caminhões, que por sua vez transportam-no para o britador, seguindo caminho para o beneficiamento na usina.

Nesse contexto, os equipamentos de perfuração exercem função fundamental no processo de extração mineral, já que realizam os furos no solo para o desmonte por material explosivo. Basicamente o funcionamento desse equipamento se dá por um sistema de locomoção por meio de esteiras ou sobre rodas. Esse veículo possui o mastro ou torre, que acomoda a haste de perfuração. Essa haste em conjunto com a broca ou bit de alto nível de dureza em sua extremidade, é responsável por exercer a perfuração do solo. A Figura 6 ilustra o equipamento descrito.

Figura 6 – Perfuratriz de Esteiras Grande Porte



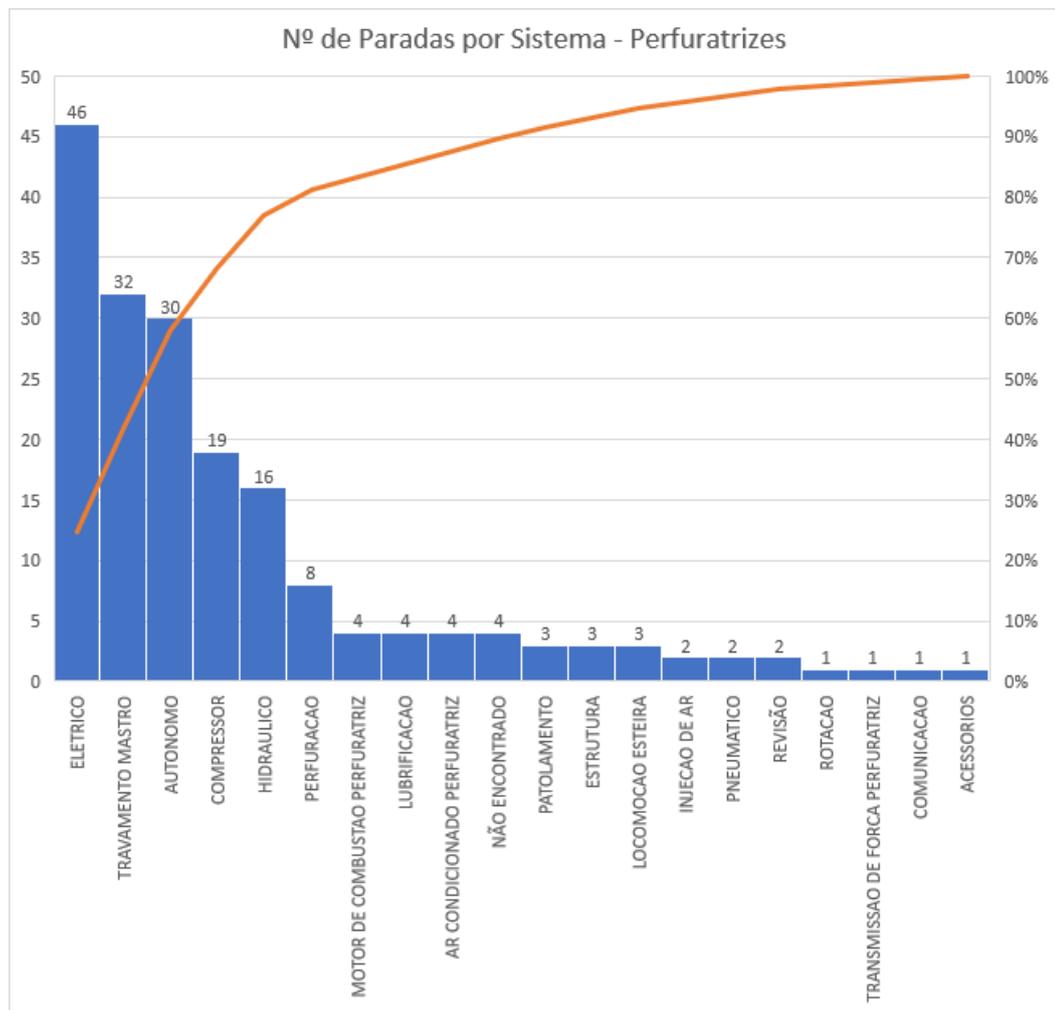
Fonte: [Caterpillar](#) (2015)

4.1 Definição do sistema

A organização estudada possui um software próprio bem consolidado que faz a gestão completa das paradas de manutenção. Em suma, a equipe de manutenção é responsável por apropriar nesse sistema toda intervenção realizada nos equipamentos, seja corretiva ou preventiva. A informação possui certo detalhamento importante, uma vez que são introduzidos relatos completos sobre as atividades realizadas, responsável, horário e motivo da falha. É ainda feito a chamada classe de falha pelo setor, que significa atribuir às falhas qual sistema, subsistema e item em que estão inseridas, e qual foi a solução aplicada. Todas essas informações podem ser exportadas para o Microsoft Excel, que facilita a construção e análises gráficas das falhas.

Com isso, a partir desse banco de dados estruturado de histórico de falhas, foi feito uma análise do comportamento das falhas durante um certo período, conforme gráfico de Pareto da Figura 7. É importante ressaltar que o estudo foi feito sobre o número de paradas para cada sistema, já que o indicador escolhido para representar a confiabilidade é o MTBF, tempo médio entre falhas, calculado pela razão entre o número de intervenções corretivas pelas horas trabalhadas dos equipamentos.

Figura 7 – Gráfico de Pareto



Fonte: Autor

Percebe-se que, ainda que o sistema elétrico apresentasse maior número de falhas no período analisado (46 intervenções corretivas), o mesmo não foi escolhido para o trabalho por dois motivos. Em primeiro lugar, o sistema elétrico possui alta complexidade nos equipamentos de perfuração, envolvendo uma quantidade muito extensa de subsistemas e componentes e participante em diferentes funções do equipamento. Outro ponto é que o trabalho nesse sentido demandaria um longo tempo de estudo e desenvolvimento, e por determinação gerencial da organização, a implementação da metodologia deveria ser feita em um menor prazo, devido a relevância do tema para o contexto operacional. Desse modo, a partir das condições apresentadas, o sistema de travamento do mastro, segundo maior em número de falhas (32 intervenções corretivas), foi escolhido para o estudo.

Após a escolha do sistema, a equipe envolvida no trabalho aprofundou os conhecimentos sobre tal processo, através de visitas presenciais as perfuratrizes na oficina de manutenção e em condições de operação na mina. Além disso, foram consultados materiais técnicos em acervos digitais disponibilizados pelo fabricante do equipamento. Em suma, o sistema de travamento do mastro engloba vários componentes que, em geral contribuem para a função principal de

garantir a estabilidade da haste de perfuração no ângulo desejado pela operação no processo de perfuração do solo. Sabe-se que o não travamento do mastro, implica entre outras coisas, a não possibilidade de funcionamento da haste para perfuração do solo. O fortalecimento da compreensão desse sistema pelos colaboradores, foi essencial para as demais etapas do desenvolvimento da metodologia.

4.2 Diagrama organizacional do sistema

O passo seguinte foi compreender os subsistemas e componentes envolvidos no sistema principal escolhido. Para isso, utilizou-se um banco de dados extenso da organização disponível no sistema SAP, que contém esse tipo de estratificação para todos os equipamentos em operação. Esses dados suportam a equipe de manutenção, para a caracterização de sistema, subsistema e componentes quando uma falha ocorre, conforme explicado anteriormente. Após essa consulta, construiu-se o esquema da Figura 8, que foi de grande importância para direcionar os componentes que serão tratados na análise FMEA.

Figura 8 – Travamento do Mastro

DIAGRAMA ORGANIZACIONAL		
Sistema	Subsistema	Componente
Travamento do Mastro	Mastro	Vedação
		Bucha da mesa
	Trava mastro	Pino
		Braço
		Comando
		Conexões
		Fixações
		Mancal de fixação do cilindro
		Mancal
		Mangueira
		Sensor
		Suporte
		Trava
		Vedação
	Yoke	
	Cilindro Trava Mastro	Cilindro
	Autonomo	Sensor trava do mastro travado
		Sensor trava do mastro destravado
		Sensor de ângulo do mastro
	Pivotamento	Mancal
Pino		
Cavelete de articulação do mastro	Bucha	

Fonte: Autor

4.3 Definição das funções, falhas funcionais, modos de falha, efeitos e causas, e atribuição do grau de risco

Com a lógica definido pelo diagrama organizacional, iniciou-se de fato a elaboração da tabela FMEA. Inicialmente foram definidos, para cada componentes de cada subsistema, a

função principal, falhas funcionais, modos de falha, efeitos da falha e causa do modo. Para a determinação do grau de risco, foram avaliados os critérios já explicados anteriormente, com o auxílio das informações levantadas junto a equipe de manutenção e pela consulta ao histórico de falhas e reparos dos últimos 2 anos.

Parte da tabela FMEA desenvolvida no trabalho está ilustrado na Figura 9 e Figura 10

Figura 9 – Tabela FMEA

COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO (S) DA FALHA	CAUSA (S) DO MODO
Vedação	Restringir acúmulo de material na mesa de perfuração	Não restringir acúmulo de material na mesa de perfuração	Desgaste	Impede posicionamento do mastro	Operação
Vedação	Restringir acúmulo de material na mesa de perfuração	Não restringir acúmulo de material na mesa de perfuração	Fixação	Impede posicionamento do mastro	Operação
Vedação	Restringir acúmulo de material na mesa de perfuração	Não restringir acúmulo de material na mesa de perfuração	Quebra	Impede posicionamento do mastro	Operação
Bucha da mesa	Guiar haste	Não guiar a haste	Desgaste	Empeno da haste (flambagem)	Operação
Bucha da mesa	Guiar haste	Não guiar a haste	Fixação	Empeno da haste (flambagem)	Operação
Pino	Travar o mastro	Não travar o mastro	Quebra	Não perfura	Desgaste mecânico

Fonte: Autor

Figura 10 – Continuação tabela FMEA

SEGURANÇA	M. AMBIENTE	OPERACIONAL	ECONÔMICA	SEVERIDADE	FREQÜÊNCIA	DETECÇÃO	RISCO (RPN)	RISCO (QUALITATIVO)
1	1	4	3	2	6	7	94,5	MÉDIO
1	1	5	4	3	5	7	96,25	MÉDIO
1	1	4	3	2	6	7	94,5	MÉDIO
1	1	5	3	3	6	7	105	ALTO
1	1	4	3	2	5	7	78,75	MÉDIO
1	1	7	3	3	5	7	105	ALTO

Fonte: Autor

O risco, RPN resultou-se da multiplicação entre os critérios de severidade, frequência e detecção. A denominação de baixo, médio, alto e muito alto foi feita com base tabela já demonstrada anteriormente.

4.4 Revisão e criação das estratégias de manutenção

A etapa final do trabalho foi baseada na revisão das estratégias já existentes, através da lógica de decisão sugerida pela MCC. É importante ressaltar que para essa etapa, as falhas foram priorizadas de acordo com o valor do RPN, ou seja, aquelas que possuíam risco maior foram tratadas primeiro, a fim de gerar resultados para o processo em um curto prazo e minimizar a possibilidade de ocorrência de falhas com potencial mais elevado. A constatação das estratégias atuais foi feita através de consultas ao plano de manutenção do equipamento registrado no sistema SAP, que determina todas as atividades de manutenção que devem ser feitas e sua periodicidade.

Juntamente a estratégia sugerida após as resposta às várias perguntas, incluiu-se também eventuais detalhamentos e responsáveis. O primeiro pode contemplar as periodicidades para realização das atividades, técnicas específicas para inspeções, ou demais observações que se mostrem necessárias. A nomeação dos responsáveis para as tarefas incluiu as equipes dos setores de Planejamento e Controle da Manutenção, Engenharia de Manutenção, Operação de Mina e Manutenção de Equipamentos de Perfuração.

Parte das planilhas desenvolvidas nessa etapa estão ilustradas nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Revisão das estratégias de Manutenção

COMPONENTE	ESTRATÉGIA ATUAL MANUTENÇÃO	MODO DE FALHA
Vedação	Inspeção funcional	Não restringir acúmulo de material na mesa de perfuração - Desgaste - Impede posicionamento do mastro
Vedação	Inspeção funcional	Não restringir acúmulo de material na mesa de perfuração - Fixação - Impede posicionamento do mastro
Vedação	Inspeção funcional	Não restringir acúmulo de material na mesa de perfuração - Quebra - Impede posicionamento do mastro
Bucha da mesa	Sem estratégia	Não guiar a haste - Desgaste - Empeno da haste (fiambagem)
Bucha da mesa	Sem estratégia	Não guiar a haste - Fixação - Empeno da haste (fiambagem)
Bucha da mesa	Sem estratégia	Não guiar a haste - Quebra - Empeno da haste (fiambagem)
Pino	Inspeção funcional	Não trava o mastro - Quebra - Não perfura

Fonte: Autor

Figura 12 – Revisão das estratégias de Manutenção

SO	II	IF	RP	SP	MP	RF	ESTRATÉGIA SUGERIDA	DETALHES DA TAREFA	RESPONSÁVEL
N	N	N	N	S	N	N	Substituição Preventiva	SUBSTITUIR AS VEDAÇÕES A CADA 250 HORAS	MANUTENÇÃO
N	N	S	N	N	N	N	Inspeção Funcional		PCM - TERCEIRO
N	S	N	N	N	N	N	Inspeção Preditiva	REALIZAR INSPEÇÃO ULTRASSOM	TÉCNICO PREDITIVA
N	N	N	N	S	N	N	Substituição Preventiva	SUBSTITUIR AS BUCHAS A CADA 250 HORAS	PCM - TERCEIRO
N	N	S	N	N	N	N	Inspeção Funcional		PCM - TERCEIRO
N	S	N	N	N	N	N	Inspeção Preditiva	REALIZAR INSPEÇÃO ULTRASSOM	TÉCNICO PREDITIVA
N	S	N	N	N	N	N	Inspeção Preditiva	REALIZAR INSPEÇÃO ULTRASSOM	TÉCNICO PREDITIVA

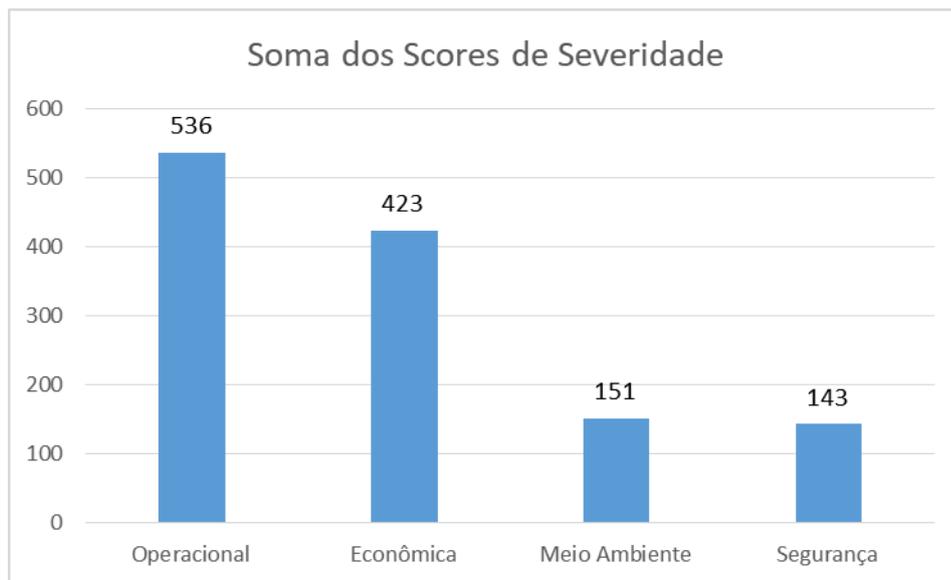
Fonte: Autor

Finalmente, após consenso das equipes envolvidas no projeto sobre quais estratégias seriam de fato implementadas foi feita a padronização e documentação. Os colaboradores responsáveis foram direcionados a alterar os planos de manutenção no sistema SAP, de acordo com as atividades sugeridas. Os planos de manutenção funcionam como um manual para toda equipe envolvida nas atividades, tanto execução quanto programação e gerenciamento. Isso é importante no sentido de assegurar e direcionar as equipes de manutenção a seguir e cumprir o que está determinado nos planos.

5 Resultados e discussões

O primeiro ponto a ser discutido condiz sobre a análise de risco. De acordo com a interpretação dos gráficos da Figura 13, para a severidade não foram observados grandes impactos das falhas do sistema de travamento do mastro para a segurança e meio ambiente em relação aos outros critérios (143 e 151 respectivamente). De fato, não foram observadas grandes possibilidades das falhas gerarem impactos críticos ao meio ambiente ou a vidas humanas. Por outro lado, os efeitos mais significativos foram percebidos para o âmbito econômico e operacional. O primeiro, devido ao alto custo de reparo ou substituição dos componentes, uma vez que tratam-se de itens muito específicos no mercado. O segundo, justifica-se pela baixa quantidade de equipamentos de perfuração ativos na mina estudada, apenas três, e portanto, a indisponibilidades dos mesmos gera grande impacto nas operações da mina.

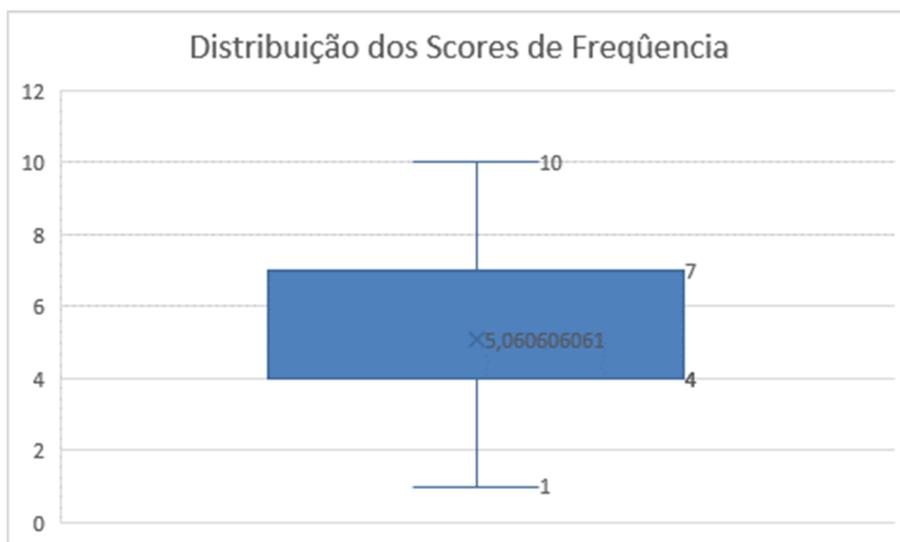
Figura 13 – Soma dos scores de severidade



Fonte: Autor

Como já esperado a partir da análise de Pareto feita sobre o alto número de falhas do sistema de travamento, os níveis de frequência foram significativos para a análise de risco. Observa-se que a maioria das falhas ocorrem de forma repetida diariamente, semanalmente ou mensalmente, como mostra o diagrama de caixa da Figura 14, em que a maioria dos dados está entre os scores 4 e 7, sendo a média igual a 5, aproximadamente. Pode-se constatar que esse comportamento repetitivo das falhas ocorre, na maioria dos casos, devido as condições extremas da operação desses equipamentos (exposição a sujeira, relevo irregular, alto esforço mecânico, entre outros) ou por não possuir estratégias adequadas de prevenção ou controle de manutenção.

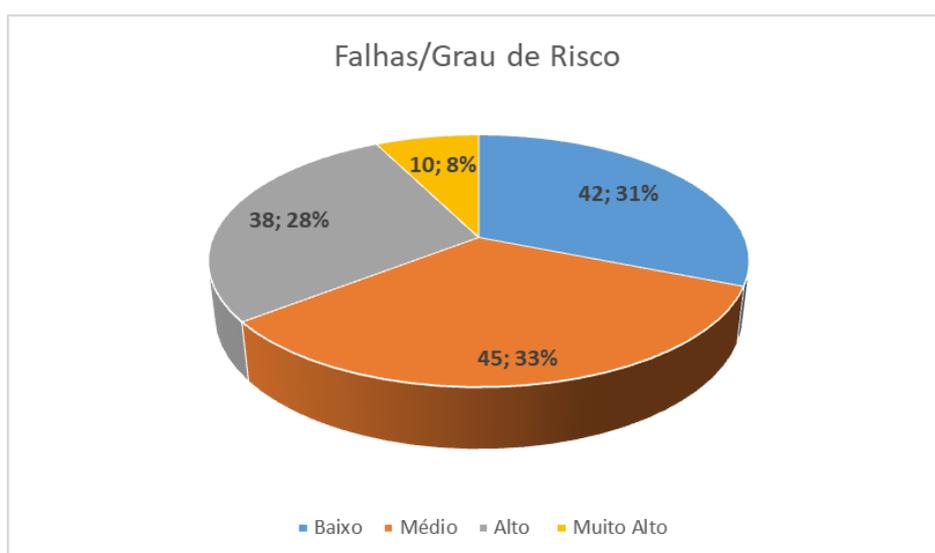
Figura 14 – Diagrama de caixa para freqüência



Fonte: Autor

A Figura 15, mostra o panorama do grau de risco de acordo com os modos de falha encontrados. Pode-se dizer que o comportamento percebido do nível de risco foi muito representativo para os status “baixo”, “médio” e “alto” com 31, 33 e 28 por cento respectivamente. Não foram observados muitas falhas que caracterizassem o risco “muito alto”, já que a maioria delas não impacta em danos irreversíveis aos seres humanos ou ao meio ambiente, ou perda do ativo. Espera-se que em curto ou longo prazo, as ações de manutenção sugeridas influenciem a diminuição gradativo dos riscos, principalmente dos mais significantes.

Figura 15 – Grau de Risco

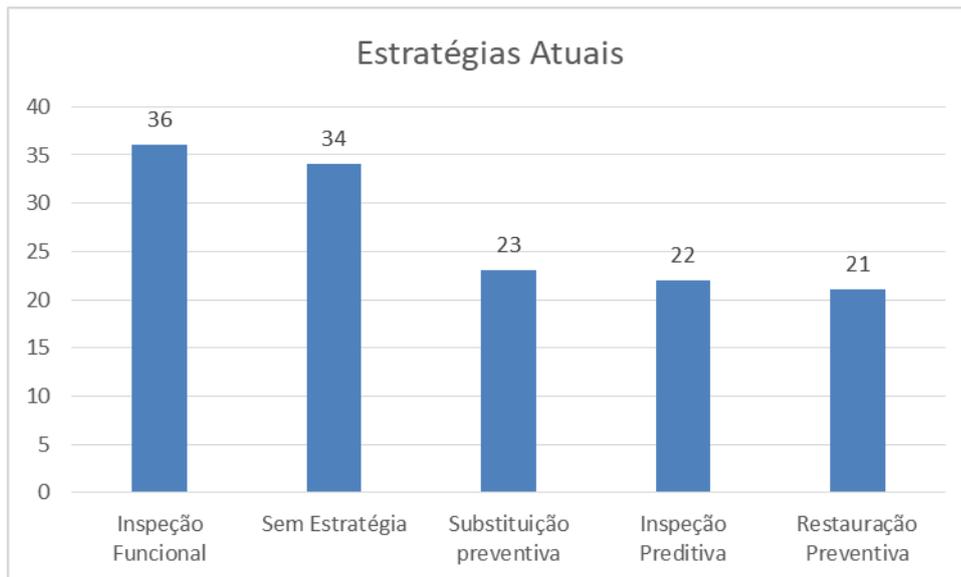


Fonte: Autor

A análise comparativa dos gráficos das Figuras 16 e 17 mostra o contraste entre as estratégias já existentes e as sugeridas pela metodologia MCC. É possível perceber que grande

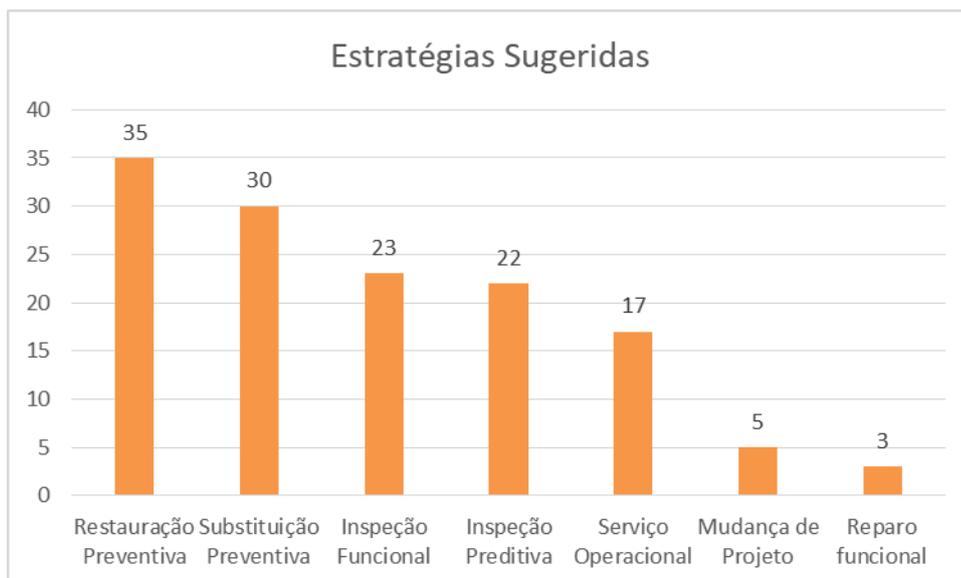
parte dos modos de falha não possuíam estratégia, ou a mesma não era adequada. Para as estratégias sugeridas, a restauração e substituição preventiva tiveram maior representatividade, uma vez que grande parte dos modos de falha observados como obstrução por sujeira, trincas, fixação e mau contato, poderiam ser resolvidos ou por substituição dos componentes menos complexos ou por reparos simples como solda, limpeza ou desobstrução.

Figura 16 – Estratégias atuais



Fonte: Autor

Figura 17 – Estratégias sugeridas



Fonte: Autor

A Tabela 2 abaixo sugere uma melhor visualização para compreender as diferenças entre as estratégias atuais e as sugeridas. É possível notar, por exemplo, que as ações envolvendo

Restauração Preventiva eram 21 e passaram a ser 35, e as de Substituição Preventiva que eram 23, evoluíram para 30, reforçando o perfil mais preventivo das atividades de manutenção sugeridas.

Tabela 2 – Comparação entre as estratégias

Estratégia Atual	Quantidade	Estratégia Sugerida	Quantidade
Restauração Preventiva	21	Restauração Preventiva	35
Substituição Preventiva	23	Substituição Preventiva	30
Inspeção Funcional	36	Inspeção Funcional	23
Inspeção Preditiva	22	Inspeção Preditiva	22
Sem Estratégia	34	Serviço operacional	17
-	-	Mudança de Projeto	5
-	-	Reparo Funcional	3

Fonte: Autor

Diante disso, com a aplicação do FMEA foi possível otimizar os planos de manutenção e aumentar a eficiência da manutenção para o sistema de travamento do mastro. A implementação de maior número estratégias de caráter preventivo como a restauração e substituição preventiva, contribuirá para que o planejamento e controle da manutenção seja mais previsível e organizado, além de aumentar a disponibilidade física do equipamento. Além disso, componentes e modos de falha que sequer tinham estratégia bem definida nos planos de manutenção, passaram a ser conhecidos e monitorados, elevando ainda mais a confiabilidade do processo.

A ferramenta também sinalizou dois tipos de condições específicas em que as técnicas diretas sugeridas no processo de decisão não eram aplicáveis, mudança de projeto e reparo funcional. Em primeiro lugar, entrar em contato com o fornecedor a fim de verificar a viabilidade em alterar o projeto de fabricação ou de montagem de certos componentes de difícil manutenção. Outro ponto foi adotar a estratégia do “Run to Failure”, rodar até a falha, para aqueles componentes que compreendem difícil detecção, ou seja, o modo de falha só é encontrado quando ocorre a falha de fato. Essa decisão feita de maneira estruturada, permite que o planejamento da manutenção se organize em relação ao estoque desses componentes.

6 Conclusão

A aplicação do FMEA no sistema de travamento do mastro dos equipamentos de perfuração de uma empresa mineradora mostrou que é possível elevar a confiabilidade desses equipamentos, a partir da implementação de estratégias de manutenção adequadas e que gerem resultados em custo e desempenho. Aliado a isso, a ferramenta auxilia na otimização da rotina de manutenção e preservação da saúde dos ativos, à medida que contribui para uma atuação cada vez mais preventiva nos equipamentos e o comprometimento e envolvimento direto da equipe de manutenção. Além disso, os ganhos também são percebidos para os âmbitos econômicos, operacionais e de saúde, segurança e meio ambiente. A implementação de planos de manutenção mais estruturados e assertivos, minimiza os gastos excessivos com intervenções corretivas ou perdas irreparáveis de componentes. O mesmo acontece para a saúde, segurança e meio ambiente, já que o maior controle sobre os modos e feitos das falhas, diminui a possibilidade de ocorrência de danos catastróficos ao meio ambiente e aos seres humanos, ou atenua caso ocorram. Para a operação de mina, principal cliente interno do setor de manutenção, a disponibilidade física dos equipamentos favorece um contexto operacional mais estável e produtivo.

As generalidades do método e das estratégias propostas viabilizam a aplicação desse trabalho em grande parte dos equipamentos de mineração. Ainda que envolvidos em processos diferentes dentro do contexto operacional, muitos dos sistemas, subsistemas e componentes são semelhantes entre os equipamentos de transporte, carregamento e perfuração, por exemplo, repetindo os modos de falha, e possibilitando a replicação das soluções. Na empresa estudada, o trabalho se estendeu e está em desenvolvimento para as Pás-carregadeiras, e demais modelos de perfuratrizes em outros locais de operação da empresa.

Os trabalhos futuros relacionados ao estudo realizado devem estar pautados na melhoria contínua do processo, a fim de garantir cada vez mais confiabilidade dos equipamentos. É importante que a tabela FMEA seja constantemente atualizada, principalmente em relação aos modos de falha, efeitos e as categorias de risco, de maneira a manter e evoluir a eficiência do método. Além disso, as atividades de manutenção sugeridas podem ser alteradas, de acordo com os objetivos estratégicos da organização ou desenvolvimento de novas tecnologias para o setor de manutenção de equipamentos de mina. Por último, destaca-se a importância em avaliar novamente o risco estimado para os modos e efeitos das falhas, após a implementação do método, com o propósito de verificar a real funcionalidade e desempenho das estratégias sugeridas.

Referências

- ALLIPRANDINI, D. H.; ROZENFELD, H. Metodologia para intervenção na manufatura com orientação nos processos e baseada nas abordagens cim e da qualidade. 1996.
- BEN-DAYA, M. *Maintenance, modeling, and optimization*. [S.l.]: Boston: Kluwer Academic Publisher., 2000.
- BRAILE, N. A.; ANDRADE, J. J. d. O. Estudo de falhas em equipamentos de costura industriais utilizando o fmea e a análise de confiabilidade. *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, v. 33, 2013.
- BROCKA, B. B. Ms gerenciamento da qualidade. *Tradução de Valdênio Ortiz de Souza*. São Paulo: Makron Books, 1994.
- CATERPILLAR. *Medium Specalog for MD6420 Rotary Blasthole Drill AEHQ6541-02*. 2015. Disponível em: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C758213>.
- FIRMINO, P.; MOREIRA, P.; DROGUETT, E. Diagramas espirais: Método auxiliar para a resolução ótima de árvores de falhas via obdd. *Artigo submetido para este simpósio*, 2004.
- HERPICH, C.; FOGLIATTO, F. S. Aplicação de fmeca para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, v. 5, n. 9, p. 70–88, 2013.
- KARDEC, A. P.; NASCIF, J. d. A. X. Manutenção: Função estratégica, rio de janeiro. *Qualitymark Editora Ltda*, 2001.
- LINO, H. Aplicação do fmea em sistema de acionamento de turbinas a vapor de uma usina de açúcar e bioenergia. *XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, Anais...*, São Paulo, 2010.
- MOUBRAY, J. Rcmii–manutenção centrada em confiabilidade. edição brasileira. *Aladon Ltda. Lutterworth. Inglaterra*, 2000.
- NBR, A. 5462-tb116: Confiabilidade e manutenibilidade. *Rio de Janeiro*, 1994.
- OLIVEIRA, O. J. d. Nova norma iso 9000 versão 2000. *Gestão da qualidade: tópicos avançados*, 2004.
- PALADINI, E. P. Edson pacheco. *Gestão da Qualidade: teoria e prática*. São Paulo: Atlas, 2000.
- PALADY, P. *Failure modes & effects analysis*. [S.l.]: Practical Applications, Quality & Reliability, 1997.
- SCAPIN, C. A. *Análise sistêmica de falhas*. [S.l.]: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- SILVA, P.; PESO, R. Qualidade total. *BALLESTERO-ALVAREZ, ME (Cord.)*. *Administração da Qualidade e da Produtividade: abordagens do processo administrativo*. São Paulo: Atlas, p. 165–231, 2001.

- SIQUEIRA, I. P. de. *Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação*. [S.l.]: Qualitymark, 2012.
- THIOLLENT, M. et al. *Metodologia da pesquisa-ação (7ª edição)*. [S.l.]: São Paulo-SP, 2009.
- WIREMAN, T. Developing performance indicators for managing maintenance. *Industrial Press (First edition): NewYork. USA*, 1998.
- XENOS, H. G. Gerenciando a manutenção produtiva. *Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial*, v. 171, 1998.
- YIN, R. K. *Estudo de Caso-: Planejamento e métodos*. [S.l.]: Bookman editora, 2001.
- ZATIONS, D. R. Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel. 2003.