



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA PARA ANÁLISE DE FALHAS DE UMA
MÁQUINA EMPILHADEIRA/RECUPERADORA**

SUENE DE OLIVEIRA DIAS

**TUCURUÍ – PA
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA PARA ANÁLISE DE FALHAS DE UMA
MÁQUINA EMPILHADEIRA/RECUPERADORA**

SUENE DE OLIVEIRA DIAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Mecânica do Campus de Tucuruí, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Orientador:
**Profº Dr.º Wassim Raja El
Banna**

TUCURUÍ – PA

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUI
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA PARA ANÁLISE DE FALHAS DE UMA
MÁQUINA EMPILHADEIRA/RECUPERADORA

SUENE DE OLIVEIRA DIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de
Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

BANCA EXAMINADORA

Wassim Raja El Banna

Orientador: Profº Drº Wassim Raja El Banna
FEM/CAMTUC/UFPA

Profº Jessé Luís Padilha

Membro Interno: Profº Msc Jessé Luís Padilha
FEM/CAMTUC/UFPA

Paulo Lourenço Monteiro Junior

Membro Interno: Profº Msc Paulo Lourenço Monteiro Junior
FEM/CAMTUC/UFPA

Conceito EXC

TUCURUI, 23 de março de 2018

Dedico este trabalho à memória de meu pai, Raimundo Nonato Lopes Dias. Exemplo de vida. Que me inspira até hoje como exemplo de muita fé, dedicação ao trabalho, esforço, honestidade e simplicidade, que infelizmente não pode esta presente na realização não só do meu, mas do nosso sonho. Saudades eternas!

A minha mãe pelo todo apoio e amor durante essa caminhada que sem ela hoje eu não seria nada...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado capacidade e determinação para alcançar esse objetivo, que sem o qual não seria possível tal conquista.

À minha família, que esteve sempre ao meu lado, orientando meus passos e me oferecendo apoio, incentivo e compreensão sempre que precisei. principalmente os meus pais, que ao longo de todo este tempo se demonstraram incansáveis a todos os níveis para que fosse possível a oportunidade de efetuar esse objetivo

Gostaria de agradecer a todos professores da Faculdade de Engenharia Mecânica que fizeram parte dessa minha caminhada, expressar o meu total reconhecimento e agradecimento ao meu Orientador Professor Doutor e amigo Wassim Raja El Banna, pela sua total disponibilidade, esforço e dedicação não só ao longo de todo este período de orientação, mas como em toda graduação. Também um especial agradecimento ao Engenheira Tanara Santos pelo apoio que sempre disponibilizou para desenvolvimento deste trabalho, como orientadora na empresa em questão aplicada nesta monografia.

Seria um erro não enunciar, os meus amigos, que aos longos destes anos me têm aturado e dado apoio para poder concluir esta fase da minha vida. Em especial a minha amiga Jaqueline Borges, a qual se tornou mais que uma amiga uma irmã que sempre esteve ao meu lado, me apoiando nos momentos bons e ruins, a qual levo pra vida, agradeço aos amigos que fiz durante o curso pela amizade e companheirismo, dividindo dias e noites de estudos, compartilhando angústias, conhecimentos e principalmente momentos de alegrias.

E por fim a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho.

EPÍGRAFE

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso”

John Ruskin

RESUMO

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA PARA ANÁLISE DE FALHAS DE UMA MÁQUINA EMPILHADEIRA/RECUPERADORA

RESUMO: A pressão por melhores indicadores de produtividade, disponibilidade e confiabilidade nas organizações tem aumentado a cada ano, tornando os diversos processos de trabalho aliados neste sentido. Do ponto de vista estratégico, principalmente num setor que compete em custos e produtividade como o da mineração, se tem na metodologia de “Análise de Falhas” um aliado extremamente importante, pois desta maneira estará sendo aplicado o que é denominado “Engenharia de Manutenção”, na constante busca por soluções dos problemas que interferem negativamente nos indicadores que medem o desempenho das áreas de processo. Nesta linha apresenta-se um estudo de confiabilidade com objetivo de aumentar a disponibilidade de uma máquina Empilhadeira/Recuperadora de uma empresa Mineradora envolvida diretamente no processo de produção de minério de Ferro. Para alcançar tal meta, propõe-se a aplicação dos conceitos de MCC através da ferramenta Análise de Modos de falha e Efeito (FMEA – Failure mode and Effect Analysis). Esta uma ferramenta simples, porém, de grande valor de melhoria nos índices de confiabilidade dentro do setor de manutenção. Para a implementação da ferramenta FMEA foi necessário mapear todo o sistema identificando suas funções, modos de falhas e suas causas, para elaboração de ações de manutenção de caráter preventivo, preditivo, inspeção e de lubrificação, prevista para cada modo de falha. Os resultados da aplicação da ferramenta proporcionaram uma visão geral, apontando os principais potenciais modos de falha, isso através da determinação dos índices de criticidade para os sistemas, reduzindo a probabilidade de falha através das ações definidas. Com o uso da ferramenta foi possível encontrar o ponto ótimo de manutenção através do modelo de distribuição Weibull. Se bem implantado a FMEA na elaboração de um plano de manutenção de forma efetiva pode-se prevenir todas os modos de falha identificados aumentando a disponibilidade e diminuindo os custos relacionados a manutenção.

Palavras-chave: FMEA, Empilhadeira/Recuperadora, Weibull, Disponibilidade.

ABSTRACT

APPLICATION OF FMEA FOR FAILURE ANALYSIS OF THE MACHINE STACKER/ RECOVERY

ABSTRACT: The pressure for better indicators of productivity, availability and reliability in organizations has increased every year, making the various work processes allied in this direction. From a strategic point of view, especially in a sector that competes in costs and productivity such as mining, we have in the methodology of "Failure Analysis" an extremely important ally, because in this way we will be applying what we call "Maintenance Engineering", in constant search for solutions to the problems that negatively interfere with the indicators that measure the performance of the process areas. In this regard, this work presents a reliability study with the objective of increasing the availability of a reclaimer machine and stacker of a mining company directly involved in the iron ore production process. In order to reach this goal, this paper proposes the application of the RCM concepts through the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) tool, a simple tool, but of great value for improvement in reliability indices within maintenance area. For the implementation of the FMEA tool, it was necessary to map the entire system, identifying its functions, failure modes and their causes, in order to elaborate preventive, predictive, inspection and lubrication maintenance actions for each mode of failure. The results of the application of the tool pressed an overview, pointing out the main potential failure modes, as well as a better understanding of how the machine can fail, through determining the criticality indexes for the systems, reducing the probability of failure through defined actions. With the use of the tool it was possible to find the optimum point of maintenance through the Weibull distribution model. If FMEA is well established in the elaboration of an effective maintenance plan, all identified failure modes can be prevented, increasing availability and reducing maintenance-related costs.

Keywords: FMEA, Stacker/ Recovery, Weibull, Availability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1. Massa expedida (Mt) em 2017	17
Gráfico 2. Massa expedida pela ER (Mt) em 2017	17
Gráfico 3. Perfil de perdas da Er de 2016 e 2017	18
Figura 1. Mapa de processo para a expedição	20
Figura 2. Desenho técnico do arranjo geral da máquina	22
Figura 3. Dados técnico da máquina Empilhadeira/Recuperadora.....	23
Figura 4. Evolução da manutenção.....	25
Figure 5. Desenvolvimento das técnicas de manutenção	27
Figura 6. Histórico da manutenção	27
Figura 7. Componentes de um programa de MCC.....	30
Figura 8. Fluxo de implantação do MCC	33
Figura 9. Etapas de um projeto Seis Sigmas	35
Figura 10. Os 6 passos da metodologia MCC	36
Figura 11. Exemplo prático de aplicação do FMEA	37
Figura 12. Representação da escala típica do FMEA tradicional para definição de prioridades.	40
Figura 13. Exemplo de Planilha FMEA.	41
Figura 14. Custo do produto x confiabilidade	43
Figura 15. Curva da Banheira e ciclo de vida de equipamentos.....	44
Figura 16. Distribuições de Vida mais utilizadas.	45
Figura 17. Taxa de falha da distribuição de Weibull - variando de 1 a 3,5.....	47
Figura 18. Recuperadora/Empilhadeira - ER	49
Gráfico 4. Taxa real de produção da ER	49
Gráfico 5. Paradas corretivas referente a ER.....	51
Gráfico 6. Dados de paradas corretivas 2016	52
Gráfico 7. Dados de paradas corretivas 2017	52
Gráfico 8. Dez principais modos de falhas - 2016	53
Gráfico 9. Dez principais modos de falha - 2017	53
Gráfico 10 e 11. Análise estatística dos modos de falha em horas e eventos – 2016.....	40
Figura 19. Fluxograma divisão da ER 01 em sistemas.....	56
Tabela 1. Parâmetros de criticidade.....	56
Figura 20. Fluxograma divisão da ER em subsistemas.	57
Quadro 1. Perfil de perdas dos principais subsistemas.....	58

Quadro 2. Funções dos subsistemas da ER.	59
Figura 21. Planilha FMEA com os modos de falhas de cada subsistema.	60
Figura 22. Parte da planilha FMEA.....	61
Quadro 4. Índices de probabilidade de detecção.	62
Quadro 5. Índices de probabilidade de ocorrência.	62
Figura 23. Planilha FMEA completa com os índices de criticidade.	63
Figura 24. Índices de Criticidade: destaque dos RPN's mais elevados.	64
Figura 25. Plano de ação da ER.....	65
Figura 26. Modos de falha com maior frequência.....	66
Figura 27. Seleção dos RPN da roda de caçambas.....	67
Figura 28. Lista de verificação dos dados.	68
Figura 29. Dados de tempos até a falha e tempo de reparo de um dos meses analisados.	69
Figura 30. interface do programa Weibull ++.	70
Figura 31. Parâmetros da distribuição Weibull.	71
Gráfico 14. Probabilidade de falha versos o tempo.....	71
Gráfico 15. Confiabilidade vs o tempo.....	72
Gráfico 16. Intervalo ótimo de manutenção (h).	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ER – Empilhadeira e Recuperadora;

FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos;

MCC– Manutenção Centrada em Confiabilidade;

BSM – Britagem Semi Móvel;

MTBF – Tempo Médio Entre as Falhas;

MTTR – Tempo Médio de Reparo;

FTA – Análise de Árvores de Falhas;

WCM – Produção de Classe Mundial;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

TPM – Manutenção Produtiva Total;

RPN – Número de Prioridade de Risco;

SAE – Sociedade de Engenheiros Automotivos.

LISTA DE SIMBOLOS

e - Número de Euler (2,718);

λ - Taxa de falha (número de falhas/horas de operação);

t - Tempo de operação (h);

η - Parâmetro de escala;

β - Parâmetro de forma;

t_0 - Tempo de falhas livre, parâmetro de localização ou vida mínima (tempo inicial);

t – Tempo final das falhas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	155
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVO	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivo Específico	19
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	20
2.1 ÁREA DE ATUAÇÃO	20
2.1.1 Mapeamento do processo	20
2.2 DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO.....	21
2.3 INTRODUÇÃO A MANUTENÇÃO	23
2.3.1 Evolução Da Manutenção	24
<i>2.3.1.1 Primeira Geração.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.1.2 Segunda Geração.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.1.3 Terceira Geração.....</i>	<i>26</i>
2.3.2 Tipos de Manutenção	28
<i>2.3.2.1 Manutenção Corretiva ou Reativa.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.2.2 Manutenção Preventiva.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.2.3 Manutenção Preditiva.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.2.4 Manutenção Autônoma (TPM).....</i>	<i>29</i>
2.3.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade e a FMEA	29
<i>2.3.3.1 Principais Conceitos do MCC</i>	<i>31</i>
<i>2.3.3.2 Processo de Implantação do MCC.....</i>	<i>32</i>
2.3.4 Ferramentas de Análise de Falhas	34
2.3.5 FMEA – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos.....	36
<i>2.3.5.1 Tipos de FMEA</i>	<i>36</i>
<i>2.3.5.2 FMEA na Manutenção.....</i>	<i>36</i>
<i>2.3.5.3 Benefícios da FMEA.....</i>	<i>37</i>
<i>2.3.5.4 Estrutura do processo FMEA.....</i>	<i>38</i>
<i>2.3.5.5 Planilha FMEA.....</i>	<i>40</i>
2.3.6 Análise de Confiabilidade	41
<i>2.3.6.1 Tipos De Falhas.....</i>	<i>43</i>

2.3.6.2 <i>Análise de Tempos de Falhas</i>	44
2.3.6.3 <i>Análise do Tempos de Reparo</i>	45
2.3.6.4 <i>Dados de Falha e de Reparo</i>	45
3 METODOLOGIA	48
3.1 PREPARAÇÃO DO ESTUDO	49
3.2 ANÁLISE DO PROCESSO	50
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DOS DADOS	54
3.4 SELEÇÃO DOS SISTEMAS E SUBSISTEMAS	55
4 RESULTADOS	59
4.1 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS - FMEA	59
4.1.1 Funções dos Sistemas	59
4.1.2 Modos de Falhas	60
4.1.3 Causas dos Modos de Falha	60
4.1.4 Definição dos Índices de Criticidade	61
4.1.5 Linha de Corte RPN	64
4.1.6 Plano de Ação	65
4.1.7 Análise de Criticidade	65
4.1.7.1 <i>Probabilidade de Ocorrência – Frequência da Falha</i>	66
4.1.7.2 <i>Gravidade/Severidade – Tempo de Manutenção</i>	67
4.2 CONFIABILIDADE	67
4.2.1 Análise dos dados	68
4.2.2 Ponto Ótimo de Manutenção	69
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
5.1 CONCLUSÕES	74
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A: Planilha FMEA	81
APÊNDICE B: Plano de ações	91

1 INTRODUÇÃO

Com o advento da economia globalizada, observou-se um aumento na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho e custos competitivos. Concomitantemente, surgiu a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos. (RIBEIRO e FOGLIATTO, 2009)

Neste contexto, as estratégias de manutenção dos ativos da empresa e o gerenciamento deste processo de forma integrada passou a ter um papel fundamental para o atendimento dos objetivos de desenvolvimento das organizações. (ZHANG E NAKAMURA, 2005, apud, FARIA, 2014). Onde segundo Máquez (2009) essas estratégias de manutenção devem ser adequadas para as necessidades específicas de cada empresa.

A norma NP EN 13306 (2007) define manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida”.

Um dos principais tópicos associados à manutenção envolve o conceito de confiabilidade dos equipamentos. Este conceito, que trata da redução de falhas e maximização do tempo de operação normal dos equipamentos, passou a chamar a atenção de diversos setores da indústria devido ao seu caráter de aumento de eficiência e segurança das operações. (ZHU et al., 2010), as quais têm utilizado os conceitos de confiabilidade para otimização de custos de manutenção

Dessa forma, a implantação de novos métodos de manutenção, meios de detecção de falhas, e principalmente ferramentas de suporte a gestão e tomada de decisões se torna necessário para que a manutenção alcance níveis gerenciais estratégicos para a organização.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é um programa que combina técnicas de engenharia em uma abordagem sistemática a fim de garantir que os equipamentos fabris mantenham suas funções originais (RIBEIRO e FOGLIATTO, 2009). Através destes princípios, a MCC busca desenvolver um programa ótimo de manutenção. (BLOOM, 2006). Segundo Mendes e Ribeiro (2011), a MCC possibilita a redução de custos de manutenção por meio da priorização das funções mais importantes dos sistemas, agregando atividades de manutenção estritamente necessárias para a continuidade destas funções e evitando ou removendo ações de manutenção desnecessárias.

A base de trabalho da MCC pode ser representada através de uma FMEA modificada, onde se define funções e padrões de desempenho dos equipamentos, seus modos de falha, as causas e consequências dessas falhas e, consequentemente, a criticidade da falha para a linha

de produção e o tipo de manutenção recomendada – preventiva, preditiva, corretiva ou rodar até a falha (BLOOM, 2006; RIBEIRO e FOGLIATTO, 2009).

No Brasil, as empresas do setor de mineração iniciaram uma corrida para antecipar ao máximo o aproveitamento de suas reservas criando um cenário propício para a busca pelo aumento de eficiência das operações já instaladas (GOLDSTEIN, 1999, apud, FARIA, 2014). De acordo com a Caterpillar Global Mining (2008), o principal produto para a manutenção de qualquer empresa mineradora são as horas disponíveis que o setor de operações pode utilizar para alcançar suas metas de produção, isto é, o desempenho neste setor é mensurado em termos de disponibilidade. Nesse contexto, segundo Farias (2014), os estudos de confiabilidade das instalações de mineração associados ao aumento de produtividade passaram a ser de grande interesse, motivando a aplicação de novas estratégias de manutenção e explorando possibilidades de redução de custos visando maior sustentabilidade para as operações. (FARIA, 2014)

Este trabalho dentro do conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade objetiva a aplicação da ferramenta qualitativa FMEA em uma máquina de expedição do setor de mineração. A aplicação dessa metodologia tem foco na redução das paradas e dos impactos de parada de manutenção aumentando volume de minério expedido aliado a melhora dos índices de confiabilidade e disponibilidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

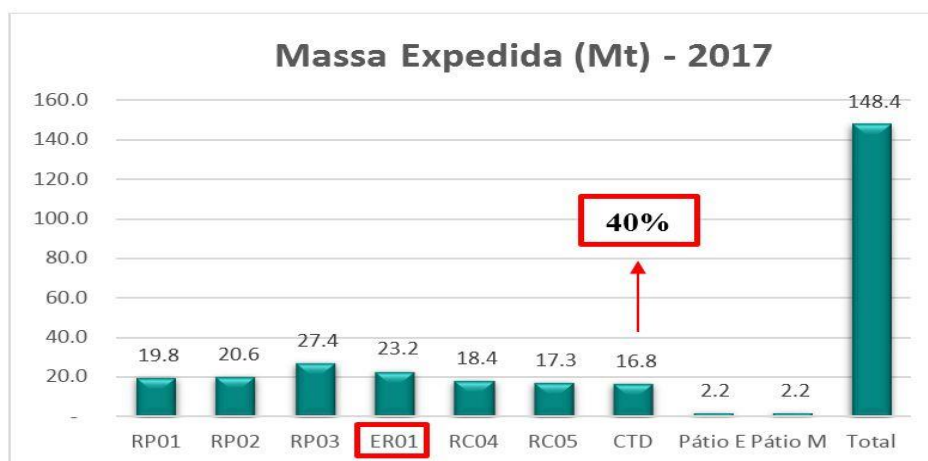
Do ponto de vista estratégico, principalmente em setores que compete em custos como a mineração, as metas e objetivos das empresas são traçadas para aumentar a disponibilidade de suas máquinas a fim de minimizar os custos com produção, aumentando assim sua capacidade produtiva e ao mesmo tempo mantendo-se mais competitiva junto ao mercado. Diante disso a principal motivação para realização deste trabalho é uma abordagem que possibilite incorporar os conceitos de confiabilidade e auxilie no gerenciamento do sistema de manutenção do equipamento de expedição em estudo. A aplicação da FMEA na Empilhadeira/Recuperadora (ER) se dá pela importância da mesma em termos de flexibilidade e produtividade.

A Empilhadeira/Recuperadora (ER) é tida no circuito de expedição da empresa como fundamental devido sua flexibilização de ser a única do circuito com possibilidade de atuar tanto recuperando quanto empilhando. Por motivos estratégicos a ER opera principalmente recuperando, porém, caso uma das Empilhadeiras contidas no circuito parem por manutenção

corretiva ou preventiva a ER deixa de recuperar e atua empilhando, isso pra manter o fluxo do circuito. Outra flexibilidade é que ela também atua no carregamento direto (CTD), ou seja, carregamento da usina direto para o Silo a qual corresponde a 40%.

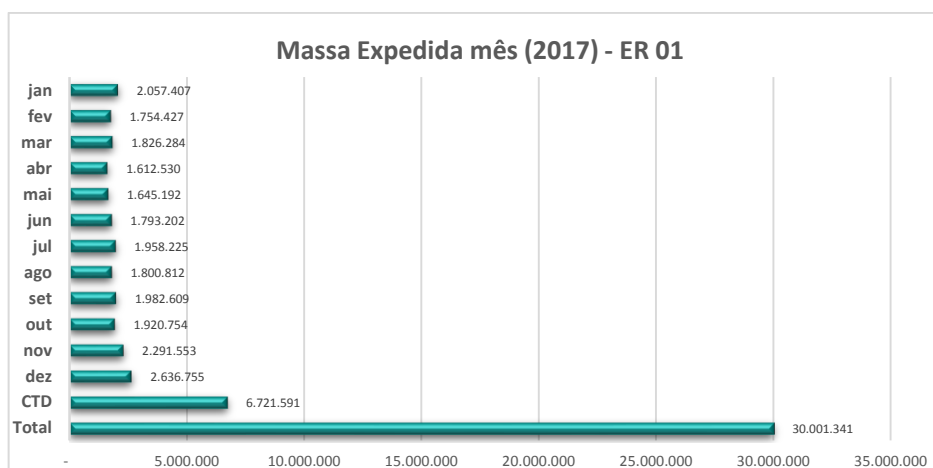
Em termos de produtividade a ER também destaca sua importância. Em 2017 o circuito de expedição teve uma produtividade de 148,8 milhões de toneladas (Gráfico 1), na qual a ER com produtividade em média de 6000 T/h, contribuiu com 23 Mt. Somando os 40% do CTD a qual faz parte, a ER expediu aproximadamente 30 Mt, assim correspondendo a 20% da produção total do circuito de expedição em 2017(Gráfico 2). O que demonstra que sua capacidade produtiva impacta diretamente nas metas de produção da empresa, fato esse que justifica a sua importância da mesma para o processo de expedição

Gráfico 1. Massa expedida (Mt) em 2017.



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 2. Massa expedida pela ER (Mt) em 2017.



Fonte: Autoria Própria.

No entanto, através da análise do perfil de perdas dos dois últimos anos, ilustrado no Gráfico 3, observamos um aumento nas paradas corretivas de 2016 para 2017, onde mais que dobrou tanto em quantidades de horas quanto de eventos, o que vem gerando o aumento na indisponibilidade da máquina. O que demonstra a grande necessidade de níveis adequados de confiabilidade para evitar quebras durante os períodos de operação e consequente redução da produtividade do sistema.

Gráfico 3. Perfil de perdas da Er de 2016 e 2017.



Fonte: Autoria Própria.

Com base nisso o desenvolvimento deste trabalho demonstra a necessidade de melhorias na unidade produtiva do ponto de vista da manutenção. Onde o estabelecimento de procedimentos de planejamento, rotina, controles e melhorias para a manutenção permitem auxiliar a empresa a alcançar eficiência em termos de disponibilidade do ativo, com qualidade elevada e redução de custos de manutenção de seu equipamento sem afetar o desempenho da planta, qualidade do produto, a segurança ou a integridade ambiental.

Segundo Faria (2014), paradas para manutenção nos subsistemas de expedição, particularmente em momentos de alta utilização, geram perdas de volume de minério transportado. Por outro lado, a não execução das pautas de manutenção preventiva reduz a confiabilidade do sistema, onde se tem claramente um *trade-off* que deve ser analisado: Redução do tempo de parada para manutenção × Aumento da confiabilidade do sistema.

Uma forma de equacionar este *trade-off* é utilizar a ferramenta de Engenharia de Confiabilidade (FMEA) para realização das pautas de manutenção preventiva. O que em um

primeiro olhar parece uma escolha simples, se mostra complexa na prática, uma vez que as variáveis envolvidas na solução.

A aplicação da FMEA de processo proporciona à equipe uma visão geral, apontando os principais modos potenciais de falhas, melhor compreensão de como o item pode falhar, juntamente com as causas básicas de cada falha. Isso significa que a energia destinada à manutenção é corretamente canalizada para a tentativa de solução dos problemas corretos. Isso não apenas ajuda a prevenir falhas que ocorrem espontaneamente, como também levam as pessoas a parar de fazer coisas que causam falhas. Sendo assim possível estabelecer ações preventivas no processo ao invés de ações corretivas, que normalmente geram retrabalho e outros custos extras de mão-de-obra e materiais.

Diante disso, a aplicação de ações preventivas de forma eficiente contribui para o aumento da disponibilidade dos equipamentos, maior produtividade, nível de serviço entregue ao cliente mais satisfatório, resultando em um melhor desempenho da planta e qualidade do produto.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar a FMEA da máquina Empilhadeira e Recuperadora (ER 151K-01) com a finalidade de apresentar ações de caráter preventivo para eliminação ou mitigação dos modos de falha visando eliminar a probabilidade de falha da mesma.

1.3.2 Objetivo Específico

- Realizar análise de falhas, identificando os principais potenciais modos de falhas e causas da falha do equipamento;
- Realizar avaliação de criticidade, quantificando o risco de cada modo de falha do sistema, através de três fatores: ocorrência da falha, severidade da falha e probabilidade de detecção;
- Criar ações de caráter preventivo, preditivo, de inspeção e lubrificação para mitigação da probabilidade risco;
- Encontrar o ponto ótimo de manutenção para aumento da disponibilidade física.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 ÁREA DE ATUAÇÃO

A Usina referente ao trabalho é uma planta composta por cinco BSM's (britagem semimóveis), uma britagem primária, uma britagem secundária, um peneiramento secundário com dezessete linhas de processo, uma britagem terciária com seis linhas, um peneiramento terciário com seis linhas e um pátio de expedição com cinco áreas (pátios A, B, C e D e E).

2.1.1 Mapeamento do processo

A máquina estudada faz parte do processo de expedição que se inicia com a atividade de recuperação do minério de ferro, a. partir do pátio de armazenagem, onde as variantes produzidas na Usina (granulado, sinter feed e pellet feed) ficam armazenadas até que sejam solicitadas para transporte. Ao todo existem cinco pátios de armazenagem, cada um com 1 quilômetro de extensão e 60 metros de largura, e capacidade para estocar três milhões de toneladas de minério de ferro, sendo a quantidade de minério que chega por hora igual a 11 mil toneladas. A Figura 1 apresenta o mapa de processos desenhado para a Expedição. (MONTEIRO et al., 2015)

Figura 1. Mapa de processo para a expedição.



Fonte: Monteiro et al. (2015)

Conforme explana Monteiro et al. (2015), os equipamentos utilizados nessa atividade levarão o minério beneficiado para os silos de carregamento de vagões. Seis recuperadoras coletam o minério de ferro das pilhas, nos pátios de estocagem, e o depositam em correias

transportadoras, que os levam para quatro silos de carregamento, de acordo com o pedido. O maior deles tem capacidade de armazenagem de 1,6 mil toneladas de minério. Juntas as recuperadoras coletam 10 mil toneladas por hora de minério de ferro.

A etapa de Expedição da Usina conta com cinco subprocessos e três equipamentos, a saber:

❖ **Recuperadora:** é constituída de duas grandes estruturas, uma que faz o movimento de translação e outra que faz os movimentos de giro e elevação da lança, sendo constituída, também, por uma roda de caçamba, localizada na ponta da lança, que faz a recuperação de minério dos pátios depositando-o em Correias Transportadoras (CARNEIRO, 2009).

❖ **Correias Transportadoras:** por sua vez, têm a função de transportar as variantes de minério de ferro produzidas na usina (granulado, pellet feed e sinter feed) do pátio de armazenagem até os Silos de carregamento, onde tais materiais são armazenados e, a seguir, depositados em vagões de trens. (CARNEIRO, 2009).

❖ **Silos de carregamento:** são grandes compartimentos que servem tanto para armazenar o minério de ferro, de acordo com a suas variações, como para depositá-los nos vagões de trens, que os transportará até o porto, para, então, serem transportados de navio aos seus destinos finais (clientes). No Quadro 1 são apresentados os equipamentos que fazem parte do processo de expedição na Usina. (CARNEIRO, 2009).

2.2 DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

A Empilhadeira/Recuperadora (Figura 2) com seus respectivos dados técnicos (Figura 3), trabalha empilhando e recuperando minério de ferro dos Pátios de Estocagem, operando em conjunto com uma correia transportadora, com 2200 milímetros de largura, instalada paralelamente à pilha, ao longo do pátio, interligada ao sistema de carregamento de vagões. A Recuperadora está apta a realizar operação contínua e confiável sob as condições ambientais e de operação especificadas.

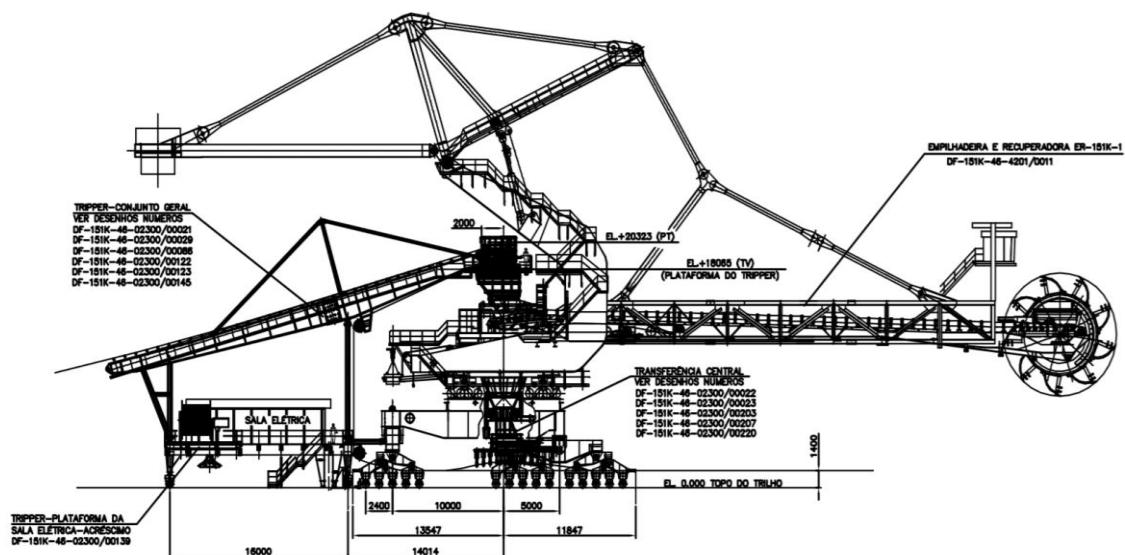
Os parâmetros básicos de operação são:

- A Recuperadora foi projetada para recuperar material do pátio, com uma capacidade Nominal de recuperação de 11000 t/h, podendo ser operada em qualquer taxa de operação abaixo deste limite. Em períodos de curta duração pode-se operar com picos de capacidade de projeto de até 13000 t/h;

- O material recuperado da pilha pelas caçambas é transferido pelo chute de descarga da roda de caçambas para o transportador de correia da lança e conduzido através deste até o chute central de descarga;
- A transferência do material recuperado para as correias é realizada com o auxílio de um desviador de fluxo.
- A máquina é controlada pelo operador instalado na cabine de operação, botoeiras locais adicionais estão instaladas próximas a cada acionamento ou grupo de acionamentos, possibilitando a execução da partida ou parada de cada mecanismo do local, individualmente ou em grupo, com propósitos de manutenção. Esta máquina faz parte de uma planta com um sistema de controle central, de onde também pode ser operada remotamente com o operador com o auxílio dos sistemas de comunicação de dados e CFTV.

A Recuperadora foi projetada para operar sob as condições climáticas e ambientais vigentes na planta conforme informadas nas suas especificações técnicas.

Figura 2. Desenho técnico do arranjo geral da máquina.



Fonte: Manual de máquina DF-1520KN.

Figura 3. Dados técnico da máquina Empilhadeira/Recuperadora.

EMPILHAMENTO	CAPACIDADE NOMINAL	: 11000 t/h
	CAPACIDADE DE PROJETO	: 13000 t/h
RECUPERAÇÃO	CAPACIDADE NOMINAL	: 8000 t/h
	CAPACIDADE DE PROJETO	: 11600 t/h
VELOCIDADES DE TRABALHO	TRANSLAÇÃO	OPERAÇÃO : 15 m/min
		POSICIONAMENTO : 30 m/min
	ELEVAÇÃO DA LANÇA	: 4 m/min
	GIRO DA LANÇA	: 0–35 m/min
	TRANSPORTADOR DA LANÇA	: 4 m/seg
	RODA DE CAÇAMBA	: 4,5 RPM
	TRANSPORTADOR DA LANÇA: LARGURA DA CORREIA = 2200 mm	
	TRANSPORTADOR DO TRIPPER: LARGURA DA CORREIA = 1800 mm	

Fonte: Manual de máquina DF-1520KN.

2.3 INTRODUÇÃO A MANUTENÇÃO

Desde a Revolução Industrial, a manutenção tem sido um desafio, pois apesar do grande progresso, oriundo do avanço tecnológico, essa ainda é uma atividade desafiadora devido a fatores como: complexidade, custo e concorrência, que aliados a uma nova filosofia de organização e responsabilidades, fizeram da manutenção uma das atividades que mais mudaram nas últimas duas décadas (DHILLON, 2002; MOUBRAY, 1997). Segundo Moubly (1997) essas alterações se devem a um grande aumento no número e na diversidade de itens físicos (instalações, equipamentos e construções) que têm de ser mantidos em todo o mundo, projetos muito mais complexos, novas técnicas de manutenção e novos enfoques sobre a empresa e a responsabilidade de manutenção.

A manutenção possui um significado antigo que segundo Monchy (1989) surgiu a partir do conceito militar de “manter”, como ideia de conservar homens e materiais em níveis constantes de efetivo e operação. Do ponto de vista técnico o significado fornecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT é que manutenção é “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou relocar um item em um

estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT, 1994; apud, GARCIA, 2013)

Kardec e Nasfic (2009) afirmam que além de executar sua função, a manutenção deve garantir a confiabilidade e disponibilidade do item físico ou instalação, atendendo ao processo com segurança, preservando o meio-ambiente e com custos adequados, sendo essa a missão da manutenção.

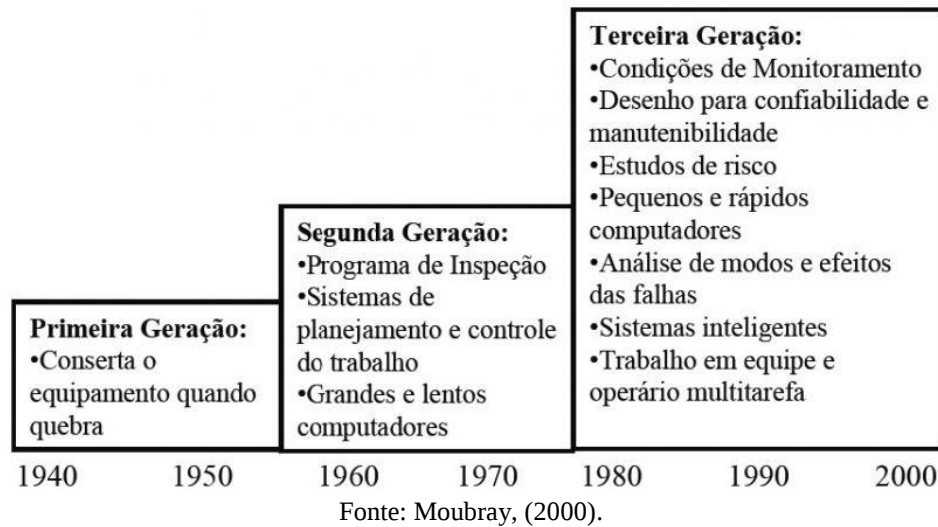
Na indústria atual a manutenção está se tornando ainda mais importante, com as empresas adotando-a como uma ferramenta de negócios para geração de lucros, capaz de mantê-las de forma eficiente, eficaz e econômica sustentando sua sobrevivência a longo prazo (SHARMA, et al., 2011).Essas transformações dentro da manutenção e essa nova filosofia centrada na confiabilidade marca o que Moubray (2000) considera como a 3ª Geração da Manutenção de acordo com a evolução dos métodos e da visão sobre a mesma

Segundo Garcia (2013) existe uma mudança das expectativas em torno da manutenção, que se dá devido a adoção de um novo conceito para falha e a conscientização que a falha traz consigo, prejuízos materiais mais como também podem trazer riscos à segurança e ao meio ambiente. Com essa nova abordagem para o conceito de falha, se tornou importante a adoção de uma manutenção que assegure a função dos itens físicos, evitando desperdícios de tempo, prejuízos financeiros e riscos à sociedade e aos recursos naturais. Esse requisito é o que tanto a manutenção e outros setores dentro da indústria buscam como “confiabilidade” (GARCIA, 2013)

2.3.1 Evolução Da Manutenção

A manutenção é um conceito antigo que está presente na história humana desde o início do uso de instrumentos de produção, e que tem acompanhado a evolução dos equipamentos e sistemas industriais desde o nascimento das primeiras máquinas têxteis e máquinas a vapor com o advento da Revolução Industrial no final do século XVIII. Seu termo começou a ser aplicado dentro da indústria somente após a Segunda Guerra Mundial, mas segundo Moubray (2000) desde os anos 30 a manutenção pode ser estudada através de três gerações distintas que marcam a evolução da forma de se fazer manutenção. (GARCIA, 2013), onde cada geração corresponde a um período tecnológico de produção, resultando em novos conceitos, filosofias e atividades de manutenção. A figura 4 apresenta as três gerações da manutenção e o enfoque de cada uma.

Figura 4. Evolução da manutenção.



2.3.1.1 Primeira Geração

O desenvolvimento técnico da manutenção é acompanhado pela história da humanidade, tendo seu início com a invenção da máquina a vapor de James Watt (1736-1819), quando houve a necessidade de reparo das primeiras máquinas industriais (DHILLON, 2006, apud, BARAN, 2011)

Segundo Moubray (2000) e Garcia (2013), a Primeira Geração se estendeu até a Segunda Guerra Mundial, onde abrange uma época onde a indústria não era altamente mecanizada, sendo os equipamentos simples e muitas vezes superdimensionados, onde o desempenho não era um fator crucial tornando os períodos de inatividade à espera de recuperação de falhas não tão importantes, ou seja, a prevenção contra falhas era simples tornando-os confiáveis e fáceis de consertar não necessitando de pessoas especializadas para atividades ligadas a manutenção, conseqüentemente o planejamento da manutenção e o controle de prevenção de falhas inexistiam nessa época, apenas reparos quando ocorriam paradas, limpeza, serviços simples e lubrificação.

2.3.1.2 Segunda Geração

O ponto de partida para a segunda geração foi o período pós-guerra, final dos anos 50, marcado pela grande demanda de produtos, serviços e pela escassez de mão-de-obra especializada. Isso acarretou uma mecanização ainda maior do processo de produção, que com a disseminação da linha de produção contínua, apresentava máquinas mais numerosas e

complexas, aumentando os custos relacionados à manutenção (MOUBRAY, 1997, apud, BARAN, 2011)

Conforme Kardec e Nascif (1999), com o aumento da dependência da indústria pela mecanização, o tempo de inatividade das máquinas se tornou evidente, fazendo a ideia de que as falhas deveriam ser evitadas e que os tempos de paralização poderiam ser diminuídos para evitar perdas no processo produtivo com as ações corretivas. Assim criando uma forte expectativa em relação ao desempenho das máquinas, evidenciando a necessidade de garantir sua confiabilidade e disponibilidade, visando atender a demanda de produção e diminuir os custos operacionais decorrente das falhas.

Ainda segundo Kardec e Nascif(1999) resultando no conceito de manutenção preventiva e conduzindo a indústria a criação de sistemas de controle e planejamento da manutenção com a ideia de antecipar a ocorrência de uma falha, Segundo Moubray(2000) “na década de 60, essa manutenção consistia basicamente de revisões gerais dos equipamentos feitas a intervalos fixos”.

2.3.1.3 Terceira Geração

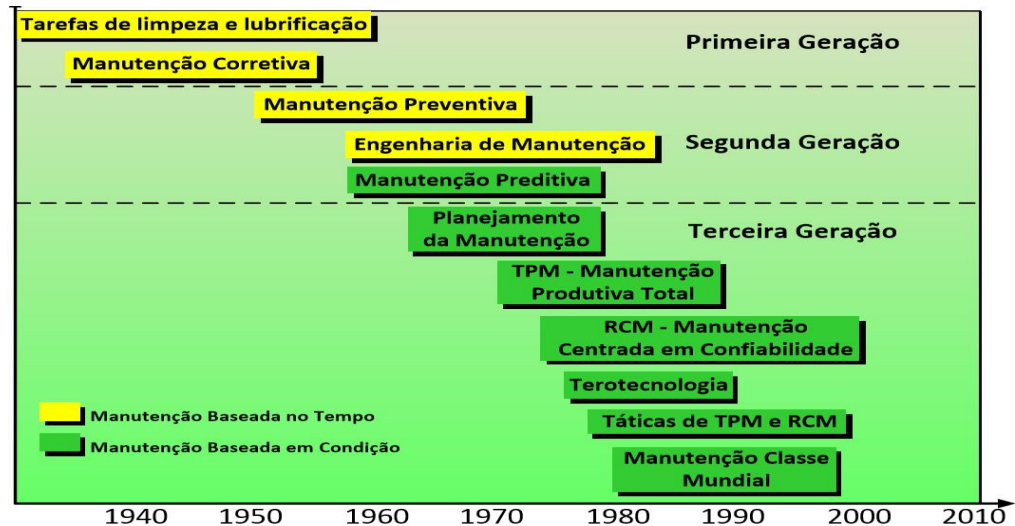
Na terceira geração a evolução das técnicas de monitoramento de condições, análise de falhas e estudos sobre riscos, trouxeram uma visão para conceituar a manutenção preditiva. A evolução desses conceitos se deu pelas expectativas crescentes sobre a manutenção. Essas expectativas forçavam ao desenvolvimento de novas tecnologias que auxiliassem o setor produtivo a manter a segurança, qualidade, disponibilidade e confiabilidade nos seus equipamentos e consequentemente nos processos produtivos (MOUBRAY, 1997). De acordo com Pinto e Xavier (2001), desta forma surge a necessidade de uma maior atenção sobre a vida útil dos equipamentos e com os impactos causados por eles. Nasce a ideia da gestão da manutenção

Uma vez que as empresas possuíam a maturidade dos conceitos e aplicações das ações de manutenção, iniciam a adoção de uma estrutura para o desenvolvimento do conjunto de ferramentas utilizadas, com objetivo de gerir e operar a manutenção sob um sistema organizado, culminando no surgimento das metodologias de manutenção: Reliability Centered Maintenance (MCC) na indústria aeronáutica americana, Total Productive Maintenance (TPM) no Japão, Terotecnologia na Inglaterra e combinação destas técnicas (GUTIÉRREZ, 2005; KARDEC e NASCIF, 2009; MOUBRAY, 1997). Além da melhoria na identificação dos modos de falha através de ferramentas de decisão sobre análise de riscos (FTA – Análise

de Árvores de Falhas e FMEA – Análise de Modos de Falhas e Efeitos) (ZAIONS, 2003, apud, GARCIA, 2013)

Na Figura 5 temos uma cronoanálise destas fases:

Figure 5. Desenvolvimento das técnicas de manutenção.



Segundo Trombeta (2016), estamos vivenciando hoje a Quarta Geração da Manutenção ilustrada na Figura 6, em que o foco é maximizar a eficácia de um ativo, minimizar as falhas, reduzir perdas e maximizar ganhos. Para isto atualmente a manutenção industrial se apoia em metodologias com WCM –World Class Maintenance, análises de causas raiz, da falha, e inovações tecnológicas com uso de internet e redes.

Figura 6. Histórico da manutenção.



Fonte: Trombeta (2016).

2.3.2 Tipos de Manutenção

Segundo Viana (2002) vários tipos de manutenção possíveis são abordadas por muitos autores, mas que nada mais são do que as formas de como são encaminhadas as intervenções nos instrumentos de produção. Já de acordo com Pérès e Noyes (2003), apesar de existirem diversas estratégias de manutenção que podem ser aplicadas de acordo com a necessidade de cada sistema, o objetivo delas é o mesmo: manter o sistema produtivo em operação o maior tempo possível e restabelecer seu funcionamento no menor prazo

Geralmente, a manutenção pode ser classificada em quatro grandes divisões:

- Manutenção Corretiva ou Reativa;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Autônoma (TPM).

2.3.2.1 *Manutenção Corretiva ou Reativa*

Trata-se da atuação na correção de alguma falha ocorrida em um equipamento ou sistema. De acordo com a ABNT a manutenção corretiva é destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida após a ocorrência de uma pane, ou seja, as tarefas de manutenção são definidas após a falha do equipamento. Zi e Li (2008) concluem que o objetivo é restabelecer a condição operacional do equipamento ou do sistema o mais rápido possível, dada sua natureza não programada.

2.3.2.2 *Manutenção Preventiva*

Viana (2002), classifica como manutenção preventiva todo serviço realizado de manutenção em máquinas que não estejam em falha, ou seja, estado zero de defeito, em condições operacionais. Segundo Zi e Li (2008) trata-se da atuação na substituição de peças e execução de serviços nos equipamentos em intervalos de tempo pré-determinados. As tarefas a serem realizadas para manutenção são definidas anteriormente à intervenção no equipamento e por uma programação prévia. O objetivo é atuar nas causas da possível falha antes de sua ocorrência, ou seja, segundo de acordo com Viana (2002) reduzir a probabilidade de falha.

2.3.2.3 *Manutenção Preditiva*

Segundo Viana (2002) são tarefas de manutenção preventiva que visão acompanhar o equipamento periodicamente, por monitoramento, por medições ou controles a fim de tentar prever a proximidade da ocorrência da falha ou evolução da falha a tempo de serem corrigidas. As técnicas mais comuns utilizadas para manutenção preditiva podem ser: análise de vibração, ultrassom, inspeção visual e outras técnicas de análise não destrutivas.

2.3.2.4 *Manutenção Autônoma (TPM)*

Muitos autores veem a manutenção autônoma, por si só, não um tipo de manutenção, mas que se configura no máximo como um dos alicerces da TPM (Total Productive Maintenance) no ponto de vista de Viana (2002), a partir do momento em que há um planejamento e programação para realização de serviços por parte dos operadores, se tem uma atividade mantenedora. Ainda segundo Viana (2002) a Manutenção Autônoma preza a premissa de “Da minha máquina cuido eu”, adotada pelos operadores que passam a executar serviços que vão desde limpeza, lubrificação e tarefas elementares de lubrificação até serviços de análise e melhoria dos instrumentos de produção.

2.3.3 **Manutenção Centrada na Confiabilidade e a FMEA**

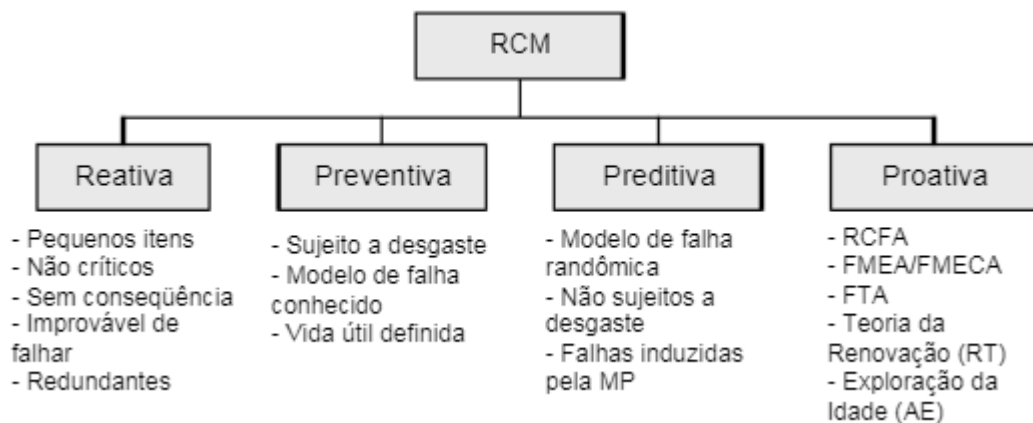
Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – Reliability Centred Maintenance) é a aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento. Esta começa identificando a funcionalidade ou desempenho requerido pelo equipamento no seu contexto operacional, identifica os modos de falha e as causas prováveis e então detalha os efeitos e consequências da falha. Isto permite avaliar a criticidade das falhas e onde podemos identificar consequências significantes que afetam a segurança, a disponibilidade ou custo. A metodologia permite selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionadas para os modos de falha identificados. (KARDEC E NASCIF, 1999)

Segundo Kardec e Nascif (1999) o termo confiabilidade (do inglês Reliability) só começou a aparecer no cenário da manutenção quando políticas puramente corretivas deram lugar à manutenção preventiva a partir da Segunda Geração da Manutenção. Nessa época as falhas eram caracterizadas por um único padrão da curva da banheira, na qual ocorriam altas taxas de falhas no início do uso do item, seguida de um período de falhas constantes e encerrando com um aumento considerado no número de falhas até a degradação total.

Conforme Kardec e Nascif (1999), apud Garcia, (2002), quando o equipamento deixa de desempenhar a sua função requerida considera-se que o equipamento falhou e é então

necessária a intervenção da Manutenção ou a aplicação de modificações no projeto do equipamento ou em seu sistema. “As estratégias de manutenção em vez de serem aplicadas independentemente são integradas para tirarmos vantagens de seus pontos fortes de modo a otimizar a operacionalidade e eficiência da instalação e dos equipamentos, enquanto minimizamos o custo do ciclo de vida”.SEIXAS (2010).Podemos observar de forma estruturada na Figura 7 os componentes do programa MCC.

Figura 7. Componentes de um programa de MCC.



Fonte: Seixas (2010).

De acordo com Moubray (2000) a “Manutenção Centrada em Confiabilidade é descrita como um processo usado para determinar o que precisa ser feito para garantir que qualquer item físico continue a cumprir as funções desejadas”. Segundo Moubray (2000), com o uso dessa metodologia é possível alcançar:

- Maior segurança e proteção ambiental, pois os modos de falha devem levar em consideração os efeitos sobre a segurança operacional e o meio ambiente;
- Melhoria nos custos de manutenção, porque o foco é realizado nas atividades que afetam com maior proporção o desempenho do sistema;
- Há um maior registro e histórico de dados, pois é necessária uma revisão dos ativos ou do processo que vai ser analisado;
- O desempenho operacional é melhorado, porque se aloca de forma mais adequada os planos de ações e manutenções para cada produto ou processo;
- Aumento da vida útil de itens, pela decisão de técnicas de manutenção que atendam de forma criteriosa cada situação.

2.3.3.1 Principais Conceitos do MCC

Para o entendimento da metodologia MCC é necessário o perfeito entendimento de algumas definições e conceitos.

1. Funções

Funções são desempenhadas por sistemas, os quais devem ser selecionados e identificados antes da caracterização das funções (SIQUEIRA, 2005). Às vezes um item físico pode ser adquirido para exercer mais de uma função, portanto, deve ser bem definido quais são as funções principais e secundárias desse item, pois o objetivo da manutenção é assegurar o desempenho mínimo das funções principais. (GARCIA, 2013).

2. Falhas

Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. Depois da falha o item tem uma pane. (NBR 5462-1994). Segundo Garcia (2013), ela pode ser representada não somente pela indisponibilidade de certo item, mas também como a operação com padrão de desempenho menor do que o aceitável, perda de qualidade do produto, ou quando ocasiona riscos à segurança operacional e/ou ao meio ambiente. Conforme Moubray (2000) é preferível definir a falha de acordo com a perda da função específica do item ao invés de somente por indisponibilidade.

3. Modo de Falha

MODO é a “Forma ou maneira de ser ou manifestar-se uma coisa”; “Maneira ou forma particular de fazer as coisas, ou de falar”; “Maneira de conseguir as coisas; meio, via” MICHAELIS (2000). O modo de falha está associado ao evento ou fenômeno físico que provoca a transição do estado normal ao estado anormal. Os modos de falha descrevem como as falhas acontecem (SIQUEIRA, 2005).

4. Causa da Falha

Segundo Lafraia (2001), apud Garcia (2002) a causa da falha é todo tipo de processo, seja ele físico ou químico, má qualidade dos componentes, defeito de projeto, defeitos de instalação e montagem, uso fora da condição operacional, condições não previstas em projeto ou qualquer outro processo que levou a falha a ocorrer ou a razão que iniciou o processo de falha.

5. Efeito da falha

EFEITO: “Resultado produzido por uma ação ou um agente, denominados causa em relação a esse resultado”, “consequência, resultado”, “fim, destino” (MICHAELIS, 2000). Em outras palavras, o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema. O modo de falha ocorre internamente, em nível de componentes, subsistemas, gerando efeitos externos

6. Confiabilidade

Para Pinto e Xavier (2001), confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar uma função, sob condições específicas, de forma adequada, como previsto no projeto, durante um período pré-determinado.

Esta probabilidade de sobrevivência, denominada de confiabilidade $R(t)$, é dada pela Equação 1.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde:

e = número de Euler (2,718);

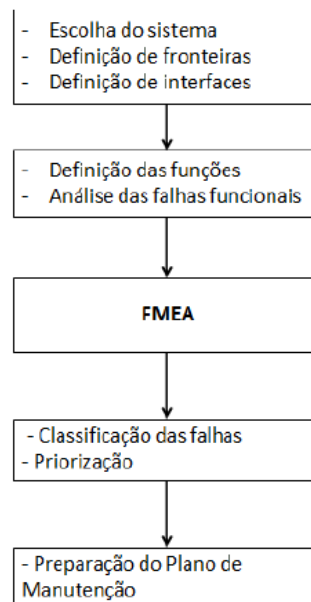
λ = taxa de falha (número de falhas/horas de operação, h);

t = tempo de operação (h).

2.3.3.3 Processo de Implantação do MCC

Segundo Kardec e Nascif (1999), a implementação do processo RCM deve seguir as seguintes etapas ilustrada na Figura 8:

Figura 8. Fluxo de implantação do MCC.



Fonte: Garcia (2013).

Diversos autores apresentam diferentes visões para a aplicação do MCC, porém em sua essência possuem uma abordagem e objetivos com o mesmo direcionamento. De base disso o processo básico de aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade passa pela análise de sete questões, desde o ponto de definição da função que é esperada para o equipamento ou sistema, até chegar ao ponto de criação de políticas de manutenção tecnicamente viáveis e com o melhor custo-benefício. Conforme Kardec e Nascif (1999) e Moubray (2000), as sete questões são:

1. Quais as funções a preservar?
2. De que forma o item falha em cumprir suas funções?
3. Quais os modos de falha?
4. Quais os efeitos das falhas?
5. De que forma cada falha tem importância?
6. Quais as tarefas aplicáveis e efetivas?
7. O que deve ser feito, se não se pode prever ou encontrar uma tarefa preventiva apropriada?

Para responder cada questão, a MCC utiliza muitos métodos e ferramentas de um conjunto aberto de soluções, algumas tradicionais, outras recentes e modernas, segundo uma sequência estruturada e bem documentada, possível de ser auditada (SIQUEIRA, 2005).

Segundo Kardec e Nascif, apud, Garcia (2013) (1999), a implementação do processo

MCC pode ser resumido nas seguintes etapas:

Etapa 1: Identificação das Funções do Sistema;

Etapa 2: Análise dos Modos de Falha e Efeitos;

Etapa 3: Seleção das Funções Significantes;

Etapa 4: Seleção das Atividades Aplicáveis;

Etapa 5: Avaliação da Efetividade das Atividades;

Etapa 6: Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;

Etapa 7: Definição da Periodicidade das Atividades.

2.3.4 Ferramentas de Análise de Falhas

Segundo Garcia (2013), a partir da terceira Geração da Manutenção começaram a surgir diversas práticas e ferramentas de decisão para auxiliar no aumento de confiabilidade de itens e sistemas como suporte para manutenção. Dentre essas práticas e ferramentas, algumas delas são:

➤ Seis Sigma:

O Seis Sigma corresponde a um conjunto de práticas para melhorar, sistematicamente, os processos ao eliminar as ineficiências e não conformidades de produtos e serviços. Tem como objetivo a obtenção de resultados empresariais de forma planejada e clara.

O Seis Sigma é baseado:

- ✓ na aplicação de uma metodologia estruturada;
- ✓ em decisões orientadas por análise de dados e fatos

Para Rodrigues (2014), a metodologia Seis Sigma trata a qualidade de maneira sistêmica, considerando todas as ações e setores de uma organização, e não somente as não conformidades de processos isolados. A Figura 9 demonstra as etapas básicas do processo 6 Sigmas:

Figura 9. Etapas de um projeto Seis Sigmas.

FASES		DMAIC
Iniciação	D	Definir os processos críticos e os objetivos diante do negócio e das expectativas e necessidades dos clientes.
Planejamento	M	Medir o desempenho do processo e identificar os problemas e a intensidade destes.
Execução	A	Analisar o desempenho e as causas dos problemas.
Finalização	I	Melhorar o processo, eliminando os problemas, reduzindo custos e agregando valores para o cliente.
Controle	C	Controlar o desempenho do processo.

Fonte: Rodrigues (2014).

➤ **Diagrama de causa e efeito (Espinha de peixe/Diagrama de Ishikawa):**

De acordo com SEBRAE (2005) o Diagrama de Causa e Efeito (ou Espinha de peixe) é uma técnica largamente utilizada, que mostra a relação entre um efeito e as possíveis causas que podem estar contribuindo para que ele ocorra. Essa ferramenta foi aplicada, pela primeira vez, em 1953, no Japão, pelo professor da Universidade de Tóquio, Kaoru Ishikawa, para sintetizar as opiniões de engenheiros de uma fábrica quando estes discutem problemas de qualidade.

Para Willians (1995), a ferramenta apresenta as causas de um problema em forma de espinha de peixe: as 4 M's: método, mão de obra, materiais e máquinas. Na área de prestação de serviços geralmente as categorias básicas utilizadas são: procedimentos, pessoas, ponto, políticas medição e meio ambiente. Com a utilização do diagrama de causa e efeito é possível determinar as causas dos problemas para atacá-los da melhor forma possível.

➤ **FTA – Análise de Árvore de Falhas**

Análise de Árvore de Falhas, um método lógico para descobrir e associar eventos que conduzam a um modo de falha característico do equipamento ou sistema, Vicente (2012). Analisa efeitos indesejados causados por problemas no produto escolhido e identifica as possíveis razões ou modos defeituosos que provocaram este efeito de maneira dedutiva (ERICSON, 1999; GEYMAR et al., 1995).

De acordo com Sobral e Abreu (2013). temos a metodologia MCC estruturada de forma que permite analisar as funções e potenciais falhas dos ativos físicos a fim de desenvolver um planejamento de manutenção que conduzirá um nível de operação e um nível de risco aceitável, de uma forma eficiente e rentável (Sobral & Abreu, 2013). Das técnicas mencionadas acima salienta-se a que para se implementar a estratégia de manutenção MCC é fundamental aplicar técnica de

FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos). Esta metodologia compreende a definição clara e exhaustiva de todas as falhas funcionais associadas aos componentes e acessórios do equipamento delimitado para análise. A Figura 10 demonstra a importância da FMEA ao ser considerada como um dos seis passos integrantes da metodologia MCC.

Figura 10. Os 6 passos da metodologia MCC.

DEFINIÇÃO	1 - Preparação para a análise
	2 - Delimitação do sistema (Seleção do equipamento a ser analisado)
	3 - Identificação das funções
ANÁLISE	4 - FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos)
	5 - Definição das políticas de manutenção
AÇÃO	6 - Plano de manutenção

Fonte: Sobral e Abreu (2013).

2.3.5 FMEA – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos

2.3.5.1 Tipos de FMEA

Basicamente, todos os tipos de FMEA tem a mesma essência e objetivo, que é analisar os modos e efeitos das falhas. O que diferenciara um tipo do outro é o direcionamento da ferramenta no momento da análise. Conforme Kardec & Nascif 1999, apud, Garcia 2013 a aplicação do FMEA pode se dar em três níveis diferentes:

- FMEA no projeto – busca identificar e eliminar na fase de concepção do equipamento ou produto as causas que podem levar esse item a falhar, considerando erros relacionados somente ao projeto, como mau dimensionamento, especificação inadequada do material, erro no cálculo de forças e tensões atuantes, etc.;
- FMEA no processo – o foco dessa análise é realizado sobre o equipamento ou item físico, avaliando sua função operacional dentro de um sistema global, como ele falha em cumprir essa função dentro do sistema e quais os efeitos que essa falha gera no equipamento e para o sistema;
- FMEA no sistema – a atenção é voltada para a linha de produção como um todo, avaliando as falhas e os possíveis gargalos no processo global.

Para o setor de Manutenção, o desenvolvimento de um FMEA está sempre relacionado com a análise de processo, pois o enfoque envolve a avaliação de equipamentos que estão instalados e em operação.

2.3.5.2 FMEA na Manutenção

O FMEA é uma das ferramentas usadas para construção e elaboração de um bom plano de manutenção. Se podemos identificar a possibilidade de ocorrência de uma falha, seu nível de severidade e detecção, obviamente, poderemos traçar uma série de atividades de caráter preventivo que podem ser realizadas antes que essas falhas ocorram de fatos. Iremos analisar cada etapa do processo de produção e identificar dentre todas as possibilidades de falha, quais falhas nós temos que prevenir através de ações de manutenção. Engeteles (2017).

Na Figura 11 abaixo tem-se um exemplo prático de aplicação do FMEA para uma atividade de manutenção específica. A partir da imagem podemos concluir nesse caso, que a ação de repurificar os rolamentos da caixa de engrenagens do robô da linha de produção poderia prevenir a parada de toda a linha de produção. Que nesse caso seria uma falha grave. Caso uma falha já tenha se manifestado, é importante compreender o porquê de ela ter ocorrido, para entender como preveni-la.

Figura 11. Exemplo prático de aplicação do FMEA.



Fonte: Engeteles (2017).

2.3.5.3 Benefícios da FMEA

Através do FMEA é possível alcançar uma série de benefícios e melhorias para o sistema em estudo, Palady (1997). É a principal ferramenta de confiabilidade que serve como veículo para alcançar e sustentar metas do setor de manutenção. ENGETELES (2017)

Um FMEA bem feito e bem implementado gera diversos benefícios para o setor de manutenção, dentre eles:

- Redução nos custos de operação e manutenção;
- À equipe uma visão geral, apontando os principais modos potenciais de falhas;
- Melhor compreensão de como o item pode falhar, juntamente com as causas básicas de cada falha;
- Energia destinada à manutenção é corretamente canalizada para a tentativa de solução dos problemas corretos;
- Identificação de possíveis gargalos no sistema;
- Restauração dos níveis de confiabilidade e disponibilidade física da máquina.
- Minimizar o impacto de eventos não planejados em segurança e meio ambiente.
- Registro mais eficaz de informações e documentação do item;

2.3.5.4 Estrutura do processo FMEA

Conforme Palady 1997, apud, Garcia 2013, a criação de um trabalho como o FMEA envolve a participação de uma equipe multidisciplinar, contendo técnicos e engenheiros dos setores de manutenção, operação, segurança e meio ambiente, que conheçam as etapas de desenvolvimento do FMEA, e alinhados com as definições de funções e padrões de desempenho esperados pelo equipamento em análise. É importante obter informações que englobe todas as áreas que podem ser afetadas pela falha para tornar o resultado mais eficiente.

Hoje existem algumas ferramentas específicas para fazer o FMEA, porém, uma simples planilha no Excel conseguirá atender muito bem as necessidades. Uma vez que os princípios básicos e boas práticas para elaboração do FMEA foram levados em consideração. (ENGETELES 2017).

O desenvolvimento do FMEA inicia-se com algumas etapas prévias. As diferentes versões utilizadas do FMEA apresentam um fluxo de aplicação similar entre eles. A figura apresenta o fluxo para elaboração do FMEA segundo Helman (1995) e Palady (1997) e Lafraia (2001)

1 - Preparação do estudo: Definição do grupo responsável pelo trabalho e quais devem ser os parâmetros mais importantes a serem avaliados com relação à segurança, operação e economia do processo;

2 - Definir os itens do sistema que serão considerados: Ocorre a identificação dos itens ou sistemas que serão avaliados e escolha do tipo de análise que será feita (projeto, processo, sistemas), estabelecendo as fronteiras até a qual estudo pretende avaliar;

3 - Preparação Prévia e coleta de dados: Obter todas as informações possíveis do item ou sistema como dados histórico de falhas, procedimentos e dados operacionais, especificações de projetos, etc.;

4 - Análise Preliminar dos itens considerados: Descrever todas as atividades desempenhadas pelo sistema, identificando qual a função e o padrão de desempenho esperados para o mesmo.

5 - Identificação dos modos de falhas: Nessa etapa devem ser identificados os modos de falhas que realmente causem alguma ineficiência no item ou no sistema em que ele opera, com base em falhas já ocorridas, falhas em itens similares e falhas que podem ocorrer.

6 - Identificação das causas das falhas: Identificação das causas deve ser feita evitando informações genéricas e considerando causas físicas, químicas, desgaste, defeito de projeto, uso indevido, etc.

7 - Identificação dos efeitos das falhas: Dependendo da fronteira do estudo, podem ser avaliadas consequências do ponto de vista operacional, econômica, de qualidade, segurança e com relação a danos ao meio ambiente. Deve-se considerar o efeito como se nenhuma medida de segurança ou manutenção fosse realizada para prevenir a falha.

8 - Determinação dos índices de criticidades: Essa análise visa estabelecer critérios para priorização das falhas através da determinação de três índices, Figura 12:

- *Probabilidade de detecção* - índice que avalia a probabilidade de se detectar a falha antes que ela afete o item ou sistema, ou que o produto chegue ao cliente;
- *Probabilidade de Ocorrência* – índice que avalia uma estimativa da possível ocorrência dos modos de falhas, baseados através de histórico de falhas, dados estatísticos conhecidos de itens ou sistemas similares, dados de fornecedores e até mesmo experiência de funcionários e técnicos como o item estudado;
- *Severidade* – índice que deve revelar a gravidade causada pelos modos de falha, considerando os efeitos e consequências em todas as áreas.

Figura 12. Representação da escala típica do FMEA tradicional para definição de prioridades.

Índice	Severidade	Ocorrência	Deteção
1	Mínima - o cliente mal percebe que a falha ocorreu / Não ocorre parada de produção.	Remota – dificilmente ocorre a causa que leva à falha	Muito Grande - Certamente será detectado
2 3	Pequena - ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente / Parada de Produção menor que 60 min	Pequena – ocorre a causa da falha em pequena escala	Grande - Grande probabilidade de ser detectado
4 5 6	Moderada - Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente / Parada de Produção entre que 60 e 120 min	Moderada – às vezes ocorre a causa que leva à falha	Moderada - Provavelmente será detectado
7 8	Alta – o sistema deixa de funcionar e há grande descontentamento do cliente / Parada de Produção entre 120 min e 720 min.	Alta – ocorre a causa da falha com certa frequência	Pequena - Provavelmente não será detectado
9 10	Muito Alta - idem ao anterior, porém afeta a segurança (cliente ou operadores) / Parada de produção maior que 720 min.	Muito Alta – ocorre a causa da falha em vários momentos	Muito Pequena - Certamente não será detectado

Fonte: NBR 9320.

A parti da definição dos três índices, é possível calcular RPN (Risk Priority Number) ou Número de Prioridade de Risco, a parti de uma multiplicação simples, Equação 2:

$$RPN = Sevridade * ocorrência * Deteção \quad (2)$$

Baseado nesse número é possível hierarquizar as falhas de acordo com o impacto que elas apresentam para o processo.

9 – Definição das ações recomendações: Com a hierarquização das falhas torna-se mais fácil definir planos de ações compatíveis com a importância de cada falha para o sistema, e as medidas que devem ser tomadas prioritariamente para reduzir a severidade e a ocorrência, ou encontrar meios para detectar a falha.

10 - Preenchimento da planilha FMEA: Fazer uso dos dados obtidos através de todas as análises citadas anteriormente para preenchimento da planilha FMEA a fim do processo;

11 - Reflexão sobre o processo: Realizar uma análise de todo processo de elaboração do FMEA, focando na análise de criticidade para fim de priorização do sistema ou item mais crítico.

2.3.5.5 Planilha FMEA

Conforme manual de referência do SAE – *Society of Automotive Engineers*, a condução do trabalho a ser desenvolvido deve ser baseada em um formulário de FMEA para a

aplicação da metodologia, conforme Anexo A. O formulário é extensível para todos os tipos de FMEA. A Figura 13 ilustra um exemplo de planilha FMEA:

Figura 13. Exemplo de Planilha FMEA.

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos					
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:					
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00					
			RESPONSÁVEL:					
Item Físico:			Descrição do item:					
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES		
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S

Fonte: Autoria Própria.

2.3.6 Análise de Confiabilidade

Segundo O'Connor 2005, apud, Matos e Zotti 2010, “Confiabilidade é a probabilidade de um item realizar sua função especificada, sem falhas sob condições de uso previamente determinadas, em um período de tempo estabelecido”. Com outras palavras, a ABNT define confiabilidade como: “Característica de um item eventualmente expressa pela probabilidade de que ela preencherá uma função dada, sob condições definidas e por um período de tempo definido”. Desta maneira ainda segundo Segundo O'Connor 2005, apud, Matos e Zotti 2010, busca-se suprir a necessidade das indústrias em conhecer e controlar a vida útil de seus produtos, reduzindo custos sem o comprometimento da qualidade, da segurança ou da disponibilidade destes. Procura-se obter a garantia de que o produto exercerá sua função no período determinado de tempo com um mínimo de falhas.

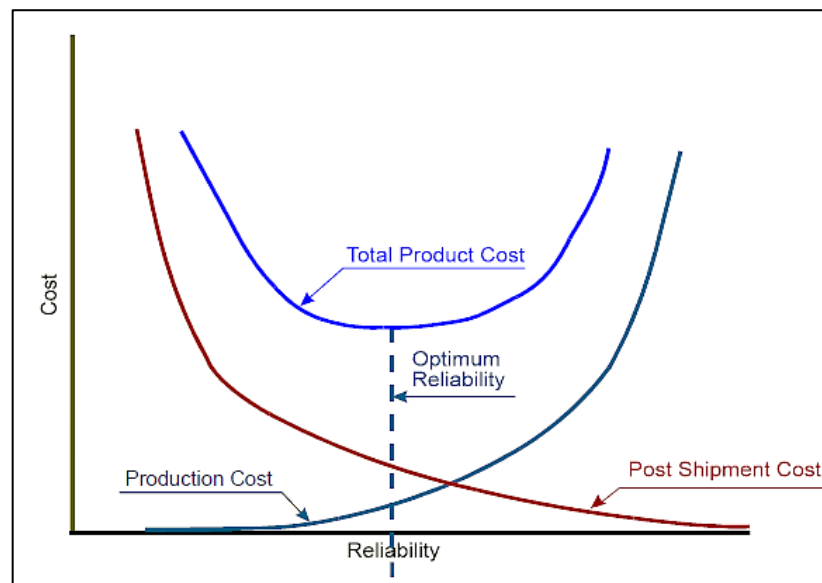
Predição e avaliação da confiabilidade são os dois problemas principais que a confiabilidade deve encarar. A predição consiste em modelos estatísticos que predizem sobre a confiabilidade de um componente ou sistema, sugerir métodos para melhorá-la, desenvolver princípios de projetos, novos materiais e tecnologias de processo. A avaliação se resume na utilização das técnicas que permitem medir os valores reais de confiabilidade, verificar as predições efetuadas com base nos modelos e controlar a manutenção de um nível exigido de confiabilidade. (MATOS e ZOTTI, 2010)

Matos e Zotti (2010) definem Durabilidade uns dos aspectos da confiabilidade, relacionado com o desempenho de um item através do tempo, a qual é normalmente definida como o mínimo de tempo antes da ocorrência de falhas por desgaste. As técnicas estatísticas existentes como a análise de confiabilidade nos permitem estimar probabilidades de itens relacionados com a necessidade das indústrias, seja no período de desenvolvimento de um projeto ou após o início da utilização do produto. As estimativas estão principalmente relacionadas com (MATOS e ZOTTI, 2010):

- Durabilidade de um produto, com as falhas classificadas como de projeto ou processo; ocasionais, por desgaste ou fadiga;
- Tempo médio entre as falhas, permite o dimensionamento de reposição do estoque e planos de manutenção;
- Correções em projetos ou recalls, necessidade pelo agravante das falhas em campo ocorrerem em grande volume;
- A confiabilidade desejada a novos projetos, para atender às expectativas crescentes dos clientes.

De acordo com a ReliaSoft (2006), o custo total do produto é a soma do custo de produção/desenvolvimento e outros custos pós-venda. Ao aumentar a confiabilidade do produto, você eventualmente estará aumentando o custo do produto, mas estará reduzindo os custos de suporte como: custos de manutenção, custos de responsabilidade, custos de perdas de mercado entre outros. O custo de vida útil de um produto, ou seja, seu custo mínimo total, pode ser determinado e implementado utilizando-se a confiabilidade ótima desse produto. A Figura 14 mostra uma comparação entre o custo do produto versus a confiabilidade.

Figura 14. Custo do produto x confiabilidade.



Fonte: Reliasoft (2006).

2.3.6.1 Tipos De Falhas

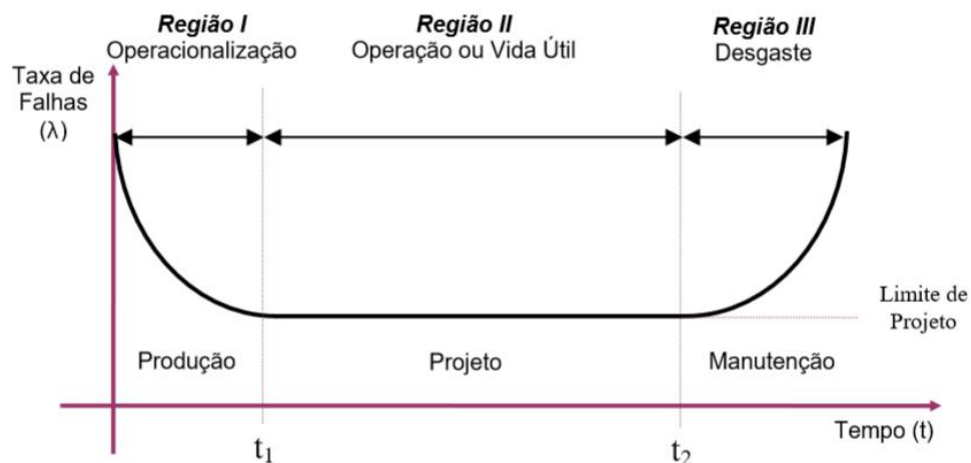
A taxa de falha é a chance de um componente ou sistema falhar na próxima e menor unidade de tempo, dado que o item funcionou até então. Existem considerações sobre as taxas de falha, sendo elas crescentes, decrescentes, constantes, em forma de “banheira” ou nenhum destes citados. São classificadas como taxa de falha crescente, dados ligados ao desgaste e velhice do componente, taxa de falha decrescente, aquelas com grande quantidade de falhas no início do uso do produto (mortalidade infantil) e curva da banheira aquela que se inicia com um alto índice de falha, seguida de desgaste por uso (mortalidade infantil seguida de desgaste). Existem três tipos básicos de falhas:

1. **Falhas precoces** – Infância: Podem ser totalmente depuradas através de um rigoroso controle na fabricação e mediante testes antes do envio do produto ao consumidor. São elas: o uso demasiadamente intenso, as anormalidades de fabricação ou podemos considerar também um projeto defeituoso. A classificação da taxa de falha é decrescente.
2. **Falhas por desgaste** – Velhice: Em alguns casos pode-se reduzir ou eliminar as falhas por desgaste mediante a um sistema de manutenção preventiva. Acontecem devido ao envelhecimento do equipamento ou desgaste real (pela perda ou degeneração de características importantes). A taxa de falha é classificada como crescente.
3. **Falhas casuais** – Vida útil: Não é fácil a eliminação deste tipo de falhas, porém em alguns casos existem técnicas que nos permitem fazer um acompanhamento de componentes adequados, através de projetos. São falhas que ocorrem ao acaso, em intervalos de tempo

inesperados. Pico de concentrações de tensões aleatórias que atuam sobre algum ponto fraco e produzem a quebra.

Na Figura 15 tem-se a conhecida Curva da Banheira que descreve a ocorrência de falhas que se iniciam com um alto índice de falha, seguidas de desgaste por uso (falhas precoces seguidas de falhas por desgaste).

Figura 15. Curva da Banheira e ciclo de vida de equipamentos.



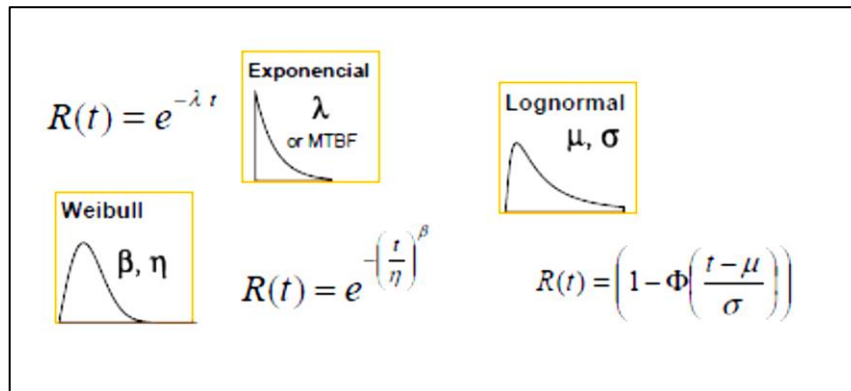
Fonte: Cavalca (2000).

2.3.6.2 Análise de Tempos de Falhas

Na Análise de Dados de Vida ou Análise dos Tempos de Falha, aspecto particular da análise de confiabilidade, baseia-se em estimativas, o valor real da confiabilidade de um produto nunca será conhecido, somente se todos os produtos já tiverem falhado. Os modelos que fornecem a estimativa de taxa de falha do produto em função do tempo estimam a probabilidade de falha do produto para uma dada idade (tempo de utilização), ou para um dado período de tempo. Os modelos probabilísticos são representações matemáticas dos dados feitos por funções contínuas a qual permite interpolações e algumas extrapolações. Estes modelos são baseados em distribuições estatísticas (MAZAROTTI 2010)

Segundo Mazarotti (2010), as mais utilizadas são denominadas de Distribuições de Vida, conforme a Figura 16

Figura 16. Distribuições de Vida mais utilizadas.



Fonte: Mazarotti (2010).

Mazarotti (2010) ainda define que primeiramente é necessário definir o modelo, esses são modelos caracterizados pelo comportamento da falha dos mesmos. Todos os dados disponíveis devem ser considerados na análise de dados de vida. Isto inclui os casos particulares onde um item da amostra foi removido do teste antes que a falha tivesse ocorrido. Há ainda informações, nestes casos, e nunca deverá ser descartada.

2.3.6.3 Análise do Tempos de Reparo

Por definição, em sistemas cujas falhas são aleatórias e não associadas a algum mecanismo de deterioração em função do tempo, não há ganhos de confiabilidade ao se realizar manutenção preventivas (MOUBRAY, 1997). Por esta razão, a estratégia de manutenção adotada nestes sistemas é a manutenção corretiva, entretanto os gastos com manutenção corretiva são muito elevados, sendo que essa manutenção só é realizada após a falha de um componente fato esse que explica seu alto custo pois precisa-se parar o equipamento e disponibilizar mão de obra para a execução de reparos no mesmo e isso muitas vezes demanda tempo de manutenção além do esperado, impactando negativamente a produtividade da empresa.

2.3.6.4 Dados de Falha e de Reparo

O levantamento estatístico dos dados de falha e dos tempos de reparo é a parte fundamental no estudo para a determinação do intervalo ótimo para manutenção. A definição dos modelos matemáticos, funções de falha e de reparo permitem representar a probabilidade de falha e de reparo dos itens ou componentes para um dado tempo considerado, essas funções são utilizadas para a determinação dos intervalos ótimos para manutenção, assim como na determinação de peças sobressalentes a serem mantidas em estoque num certo intervalo de tempo. DE SANTANA SEIXAS.

De acordo com De Santana Seixas, as três principais funções a serem utilizadas são a Distribuição de Poisson, Distribuição Exponencial e a Distribuição de Weibull, a seguir se tem a descrição mais detalhada da Distribuição de Weibull a qual será utilizada nesse estudo:

➤ **Distribuição de Weibull**

A distribuição de Weibull (Figura 17), segundo Freitas, Colossimo (1997), foi proposta originalmente por W. Weibull (1951) em estudos relacionados ao tempo de falha devido à fadiga em metais a qual é frequentemente empregada para descrever o tempo de vida de produtos industriais. Ainda segundo Freitas, Colossimo (1997), através da distribuição se descreve adequadamente o tempo de vida de produtos formados de várias partes (elementos) cuja falha ocorre quando a primeira parte falhar. Outra vantagem da utilização da distribuição de Weibull em aplicações práticas deve-se ao fato de ela apresentar uma grande variedade de formas, todas com uma propriedade básica: a função taxa de falha é monotonia. Isto significa que ela pode ser crescente, decrescente ou constante. Ela descreve adequadamente a vida de mancais, componentes eletrônicos, cerâmicas, capacitores dielétricos, etc. (FREITAS, COLOSSIMO; 1997).

Para Carter (1986), a distribuição de Weibull “é muito desejável, pois se tem em mãos uma distribuição que pode representar qualquer curva de taxa de falha no tempo”. A distribuição de Weibull depende de dois ou três parâmetros. Estes parâmetros são definidos como:

η - É o **parâmetro de escala**, conhecido como *vida característica*. Corresponde ao valor de t no qual existe aproximadamente 63.2% de probabilidade do que o componente venha a falhar.
 β - É o **parâmetro de forma**, indica o comportamento da função da taxa de falha.

- Para $\beta = 1$, a função taxa de falha é constante (e equivale a Distribuição exponencial).
- Para $\beta > 1$, a função taxa de falha é crescente, e quanto maior é este, mais rapidamente a função cresce.
- Para $\beta < 1$, a função taxa de falha é decrescente, e quanto menor é este, mais rapidamente a função decresce.

t_0 - É chamado de tempo de falhas livre, **parâmetro de localização** ou vida mínima e indica a data de início das falhas.

Função densidade de probabilidade, Equação 3:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

Onde:

$$\beta > 0$$

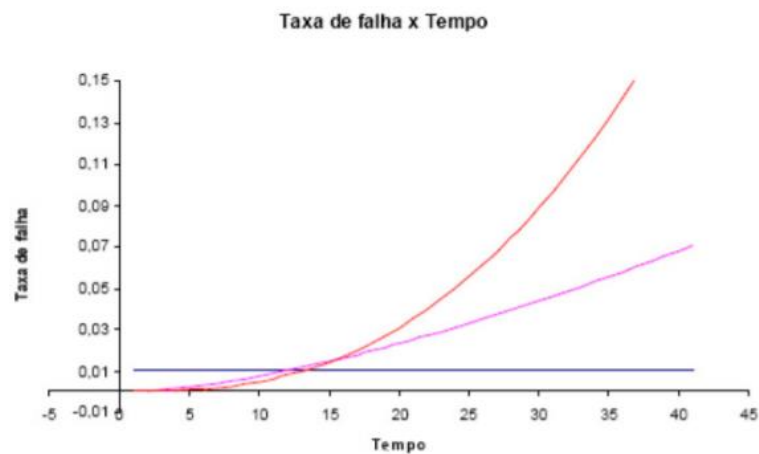
$$\eta = > 0$$

$$0 \leq t_0 \leq t \leq \infty$$

- Função distribuição acumulada, Equação 4:

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^\beta\right) \quad (4)$$

Figura 17. Taxa de falha da distribuição de Weibull - variando de 1 a 3,5.



Fonte: Barbosa (2008).

Na Figura 17 deve-se ressaltar que o parâmetro β é denominado constante de forma, que primariamente controla a forma da curva na distribuição de Weibull.

3 METODOLOGIA

A FMEA é, em princípio, uma análise indutiva completa (lógica direta), porém a probabilidade de falha só pode ser estimada ou reduzida pela compreensão do mecanismo de falha. Idealmente, essa probabilidade deve ser reduzida para “impossível de ocorrer” eliminando as causas raízes. Portanto, é importante incluir no FMEA uma quantidade de informações adequadas sobre as causas de falha (análise dedutiva).

A empresa na qual este trabalho foi aplicado é uma Mineradora que atua internacionalmente, atuando principalmente como produtora de Minério Ferro a qual é composta por processos de: Britagem Primária (4); Britagem Secundária (1); Peneiramento Secundário (6 linhas a úmido e 11 linhas a umidade natural); Peneiramento Terciário (6 linhas a umidade natural); Britagem Terciária (1); Ciclonagem (4 baterias) e Filtragem (8) gerando as variâncias do minério de ferro (Granulado, Pellet feed, Sínter feed).

Nas usinas de beneficiamento de minério do mundo inteiro, se faz necessária a estocagem do produto final em um pátio adequado para reserva, seja para uma parada programada ou uma parada de emergência da mina, ou para aguardar a chegada da locomotiva para carregamento dos vagões. A estocagem em pilhas é o método mais usado na mineração, uma vez que devido ao tamanho das pilhas, a estocagem pode ser feita em grandes quantidades e com um custo relativamente baixo, quando comparado com a estocagem em silos. Para a formação da pilha, é necessário a máquina Empilhadeira e a Recuperadora (Figura 18). Este equipamento é utilizado para formar as pilhas de minério nos pátios de estocagem e depois para recuperar o minério das pilhas e descarregar em algum transportador ou vagão.

A ER é uma máquina de fundamental importância para o processo de mineração, por sua flexibilização de ser duas em uma Recuperar e Empilhar e também devido a sua taxa alta de produção.

Figura 18. Recuperadora/Empilhadeira – ER.

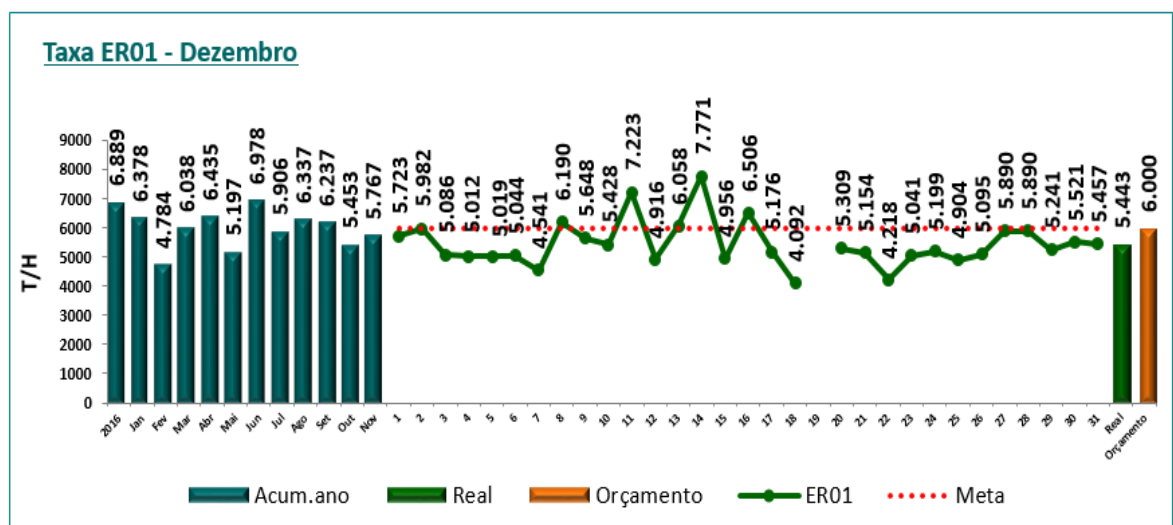


Fonte: Autoria Própria.

Inicialmente a máquina foi projetada considerando condições ideais de funcionamento, entretanto as condições de trabalho encontrada são muito extremas, tendo visto que as taxas reais de trabalho são menores quando comparada a capacidade de projeto indicada, fato este que pode explicar as decorrentes falhas no equipamento.

Devido as condições extremas de trabalho, tipo de material e consequentemente falhas causando indisponibilidade física do ativo, nos últimos anos houve uma redução na capacidade produtiva do equipamento em estudo, O Gráfico 4, mostra o acumulado de 2016 em comparação com o ano de 2017, com detalhamento das taxas em dezembro. O que se observa é uma redução das taxas de produtividade comparadas ao ano anterior, o que demonstra que o elevado número de paradas corretivas tem impactado de forma significativa a produtividade do circuito de expedição.

Gráfico 4. Taxa real de produção da ER.



Fonte: Autoria Própria.

3.1 PREPARAÇÃO DO ESTUDO

Para dá início a aplicação da FMEA, foram definidas as fronteiras das análises, as quais entrariam apenas no mérito dos sistemas e subsistemas sem extrapolar demasiadamente as falhas em peças e subpeças. Foi definido também que a análise se daria para todos principais modos de falha que já se tem um histórico de ocorrência, como os que não tem histórico, mas são possíveis falhas dos sistemas que tem probabilidade de vim ocorrer. Outro parâmetro definido foi a análise das falhas relacionadas a paradas corretivas não programadas do equipamento, ou seja, não foi considerada paradas para manutenção preventiva.

3.2 ANÁLISE DO PROCESSO

Definido as fronteiras de estudo, foi realizada uma análise criteriosa do processo e realizado um levantamento do histórico de falhas dos equipamentos e das principais ocorrências de falhas que geraram altos tempos de indisponibilidade da manutenção. Esses dados foram obtidos a parti de um software interno da empresa onde os operadores lançam as paradas e falhas da máquina, no qual é realizado um tratamento de falhas, o que facilitou a análise das mesmas. A partir dele foi gerado um relatório em formato de planilha eletrônica onde foi possível filtrar por data, o tempo de parada corretivas, eventos, componente onde ocorreu a falha e sua causa, sendo possível calcular o tempo médio de parada e de reparo para cada modo de falha dos subsistemas.

Essa metodologia serviu de base para identificar os sistemas que mais impactaram em tempos de parada do setor e para auxiliar a construção do FMEA na definição da priorização das medidas e planos de ação recomendados, como sugere Fogliatto e Ribeiro (2009).

Além dos dados citados foi realizado levantamento dos indicadores de desempenho e dos registros de dados feitos pela manutenção, para posterior análise acerca dos resultados obtidos com o FMEA e o real efeito das ações tomadas para a manutenção e operação do processo.

Segundo proposto por Bleser (2013), para a obtenção de dados para estudos de confiabilidade, é necessário usar o banco de dados existentes nas empresas, entretanto admite que as fontes de informações não podem ser restritas somente a esses dados. Com base nisso além da análise dos dados de perfil de perdas do equipamento foi realizado uma análise em campo. Onde foi feito um acompanhamento das paradas de manutenção programadas, junto

aos mantenedores da máquina, além de um acompanhamento com os operadores para um melhor detalhamento da descrição dos modos de falha e suas causas.

Com base nas informações acima se pode fazer o levantamento dos dados do Gráficos 5,6,7,8 e 9 que serão demonstrados a seguir.

Os dados apresentados a seguir foram estratificados referente ao período de janeiro de 2016 a dezembro de 2017. No Gráfico 5 abaixo são mostrados os dados de paradas da manutenção corretiva comparando os dois anos analisados.

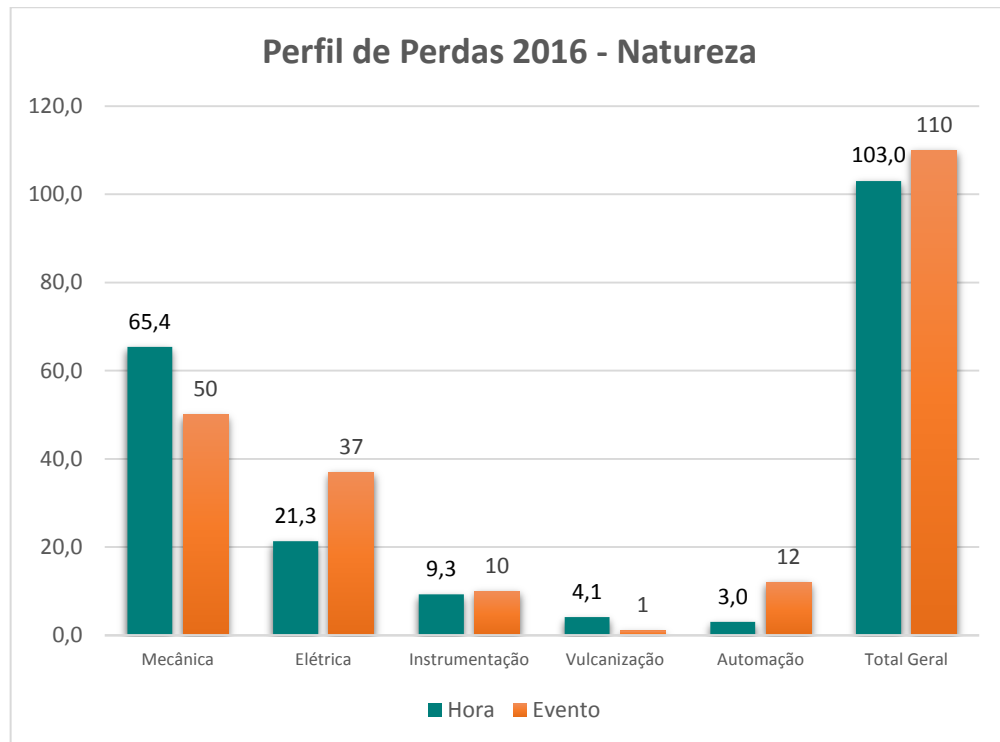
Gráfico 5. Paradas corretivas referente a ER.



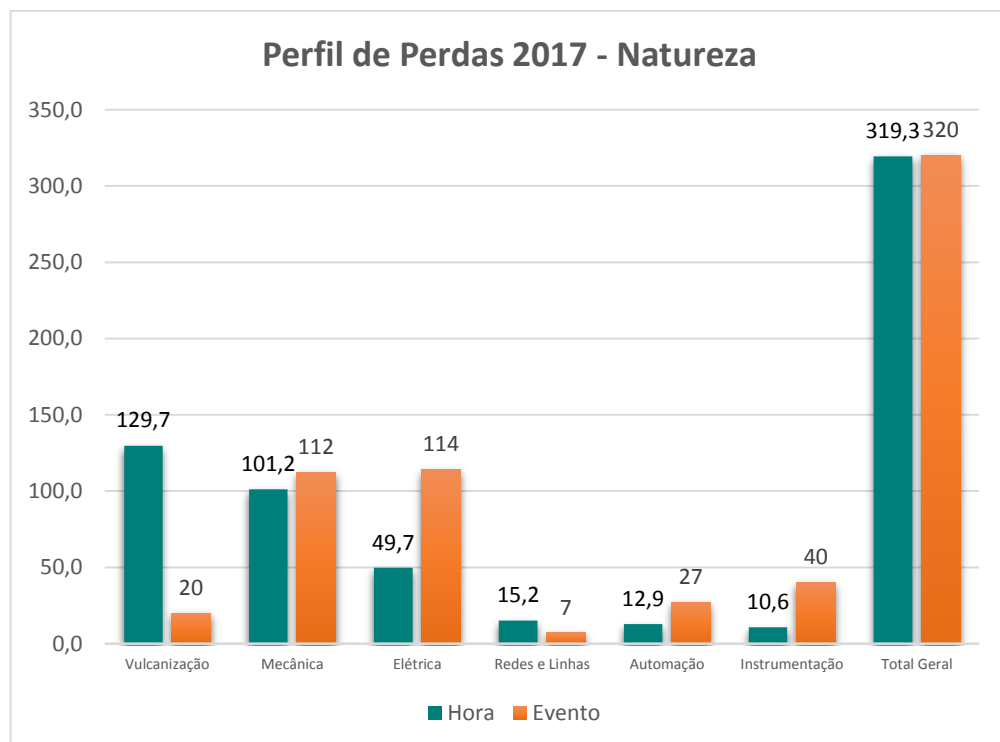
Fonte: Autoria Própria.

Através do Gráfico 5 pode -se observar que teve um dobramento de paradas corretivas de 2016 para 2017, tanto em duração de paradas quanto em número de eventos, o que vem causando impacto na disponibilidade da máquina consequentemente sua produtividade. demonstrando a necessidade de tratar essas paradas em termos de manutenção para melhorar os índices de confiabilidade do sistema assim como a disponibilidade do mesmo.

A partir dos dados dos gráficos 5, foi feita uma estratificação das horas paradas por cada área de atuação da manutenção. Os dados apresentados desta forma ajudam a avaliar as áreas da manutenção que tem impactado mais em horas de indisponibilidade, como mostra o gráfico 6 e 7.

Gráfico 6. Dados de paradas corretivas 2016.

Fonte: Autoria Própria

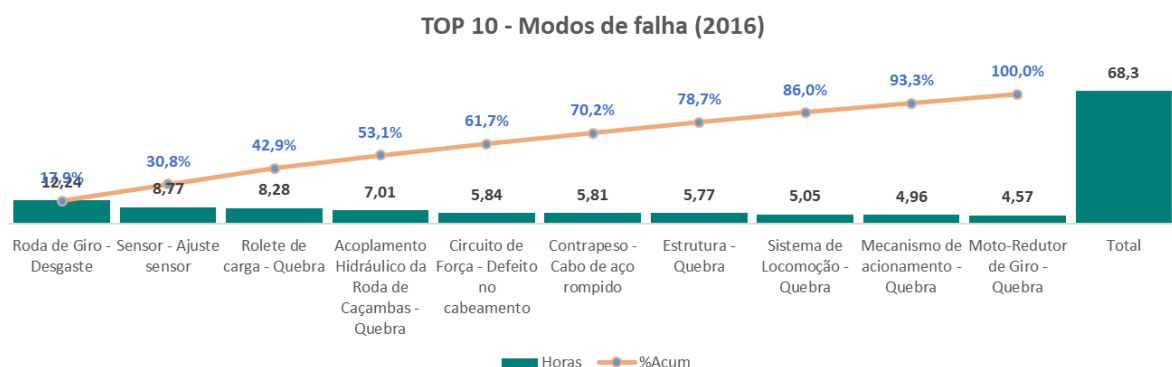
Gráfico 7. Dados de paradas corretivas 2017.

Fonte: Autoria Própria.

Pelos dados apresentados nos Gráficos 6 e 7, verifica-se que os maiores tempos de indisponibilidade da máquina ER são devidos a falhas ocasionadas por problemas mecânicos, somando um total de 166,6 horas e 162 eventos. O elevado número de horas referente a Vulcanização, se deve a um problema de emenda da correia transportadora da lança ocorrido no segundo semestre, a qual foi uma parada esporádica por não ser referente a manutenção e sim um problema de fornecedor da correia, o qual foi tratado, com isso evidenciando que em 2017 as maiores falhas também foram de caráter mecânico. Na verificação das falhas por motivos elétricos e de instrumentação, tanto no ano de 2016 como em 2017, foi identificado muitas paradas em um curto espaço de tempo os quais se dão em muitos casos a testes com sensores, ocorrendo registro de paradas de duração pequena, e não parada por falhas de fato, refletindo nos indicadores, gerando um aumento de eventos referentes, sendo necessário fazer essa consideração no momento da aplicação da ferramenta.

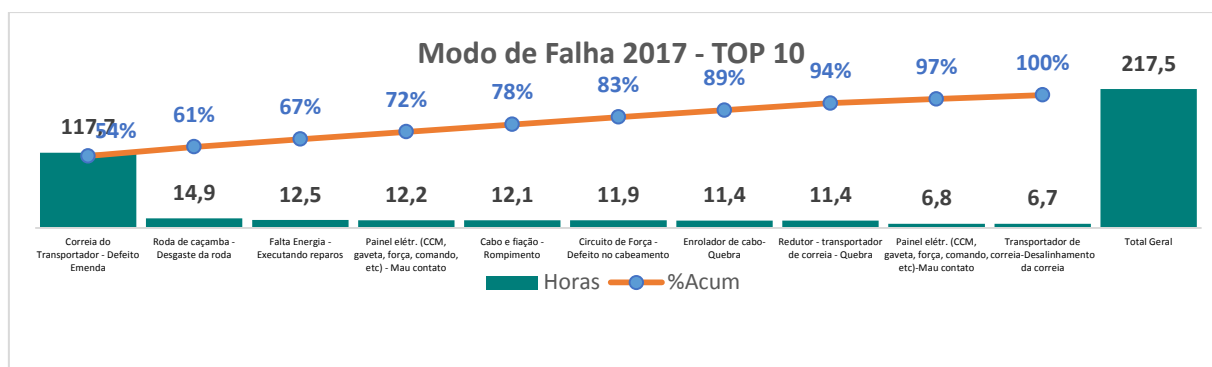
Por fim foi realizado a estratificação dos principais modos de falha com os respectivos tempos de paradas, como mostra os gráficos 8 e 9:

Gráfico 8. Dez principais modos de falhas – 2016.



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 9. Dez principais modos de falha – 2017.



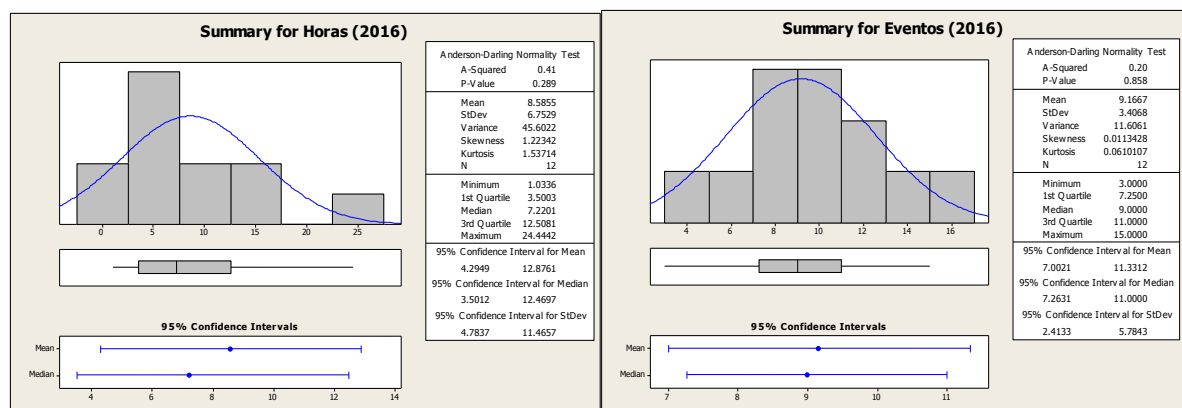
Fonte: Autoria Própria.

Através dos Gráficos 8 e 9 se pode notar que muitos dos modos de falha de 2016 se repetem em 2017 e que surgem novos modos de falha em 2017 não apontados em 2016. Com base nisso foi realizada a análise detalhada de cada modo de falha, o que demonstrou que, muitas ações preventivas dessas falhas não estão sendo executadas, por falha no planejamento ou estão sendo executadas de forma ineficiente, e que algumas dessas falhas não tem ações no plano de manutenção para preveni-las. Desta forma foi possível ter uma visão clara de como atuar nessas falhas dentro da ferramenta FMEA.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA BÁSICA DOS DADOS

Através dos dados apresentados foi possível realizar uma análise estatística básica através do programa Minitab 16, para se entender a distribuição dos modos de falha em 2016 e 2017. Foi gerado através da curva o desvio padrão distribuído nos dados analisados dos 12 meses, além da média de horas e eventos, como ilustra os Gráficos 10 e 11 abaixo:

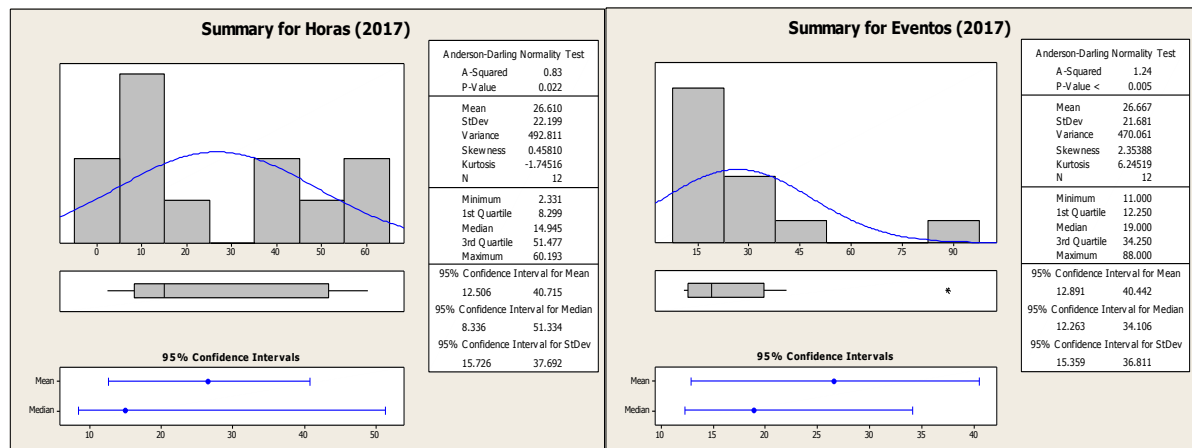
Gráfico 10 e 11. Análise estatística dos modos de falha em horas e eventos – 2016.



Fonte: Autoria Própria.

Através dos dados gerados no Gráfico 10, tem-se um desvio padrão de aproximadamente 6,7 e uma média de 8,58, o que nos diz que em 2016 as falhas obtiveram uma média de 8 horas de duração. No Gráfico 11 temos um desvio padrão de aproximadamente 3,4 e uma média de 9,1, ou seja, em média ocorrem 9 falhas a cada mês.

Gráfico 12 e 13. Análise estatística dos modos de falha em horas e eventos - 2016.



Fonte: Autoria Própria.

Em 2017 através do Gráfico 12 temos um desvio padrão de aproximadamente 22,2 e uma média de 26,6, o que nos diz que no período dos 12 meses as falhas obtiveram uma média de 26 horas de duração. No Gráfico 13, tem-se um desvio padrão de aproximadamente 21,7 e uma média de 26,7, ou seja, em média ocorrem 26 falhas por mês durante o ano analisado.

Através da análise estatística podemos perceber uma distribuição mais uniforme das falhas em 2016 e como a frequência de falhas de um ano para o outro vem aumentando drasticamente assim como o tempo de duração da manutenção da falha, aumentando os índices de indisponibilidade da máquina

3.4 SELEÇÃO DOS SISTEMAS E SUBSISTEMAS

Após as definições citadas, levantamento dos dados de manutenção e a preparação de estudo, discutida na seção 3.1. Foi possível definir os sistemas a serem analisados dentro do FMEA.

O objetivo dessa etapa foi selecionar os Sistemas e Subsistemas da ER, baseado nos parâmetros de criticidade definidos, mostrado na Tabela 1, baseados no impacto que causam sobre a função do equipamento.

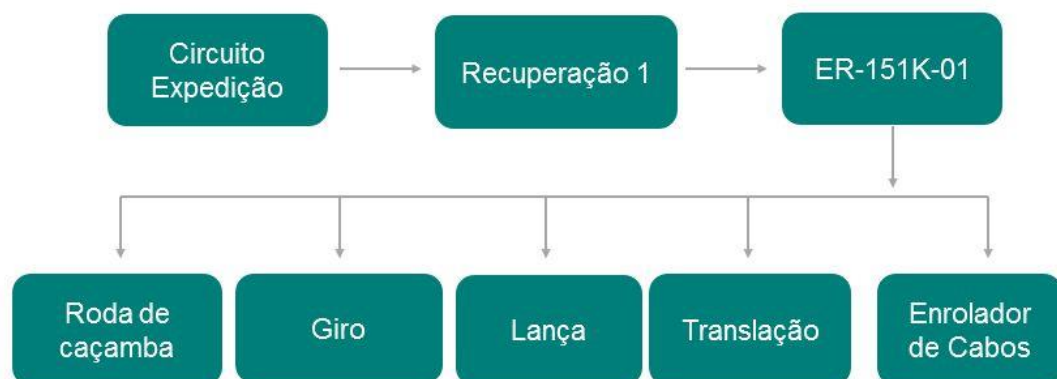
Tabela 1. Parâmetros de criticidade.

Efeito	Severidade
Segurança	1
Tempo de Manutenção - MTTR	2
Frequência de Falha – MTBF	3
Qualidade	4
Custo de Reparo	5

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 1 foi definido 5 parâmetros de criticidade para seleção dos sistemas, com índice de severidade com a numeração como sequência de priorização, tendo a escala de severidade 1 nível de criticidade para alta, e severidade 5 para nível de criticidade baixo. Assim foi analisado quais Sistemas, geram falhas que impactam na segurança, geram elevado tempo de manutenção e frequência de falhas afetando a disponibilidade do equipamento, que afetam a qualidade da função do equipamento, ou seja, tornando menos eficiente, e as que geram um custo elevado de reparo. Os dois efeitos tempo de manutenção e frequência de falhas foram determinados com foco no objetivo do trabalho, tendo-os como os que mais afetam a disponibilidade da máquina.

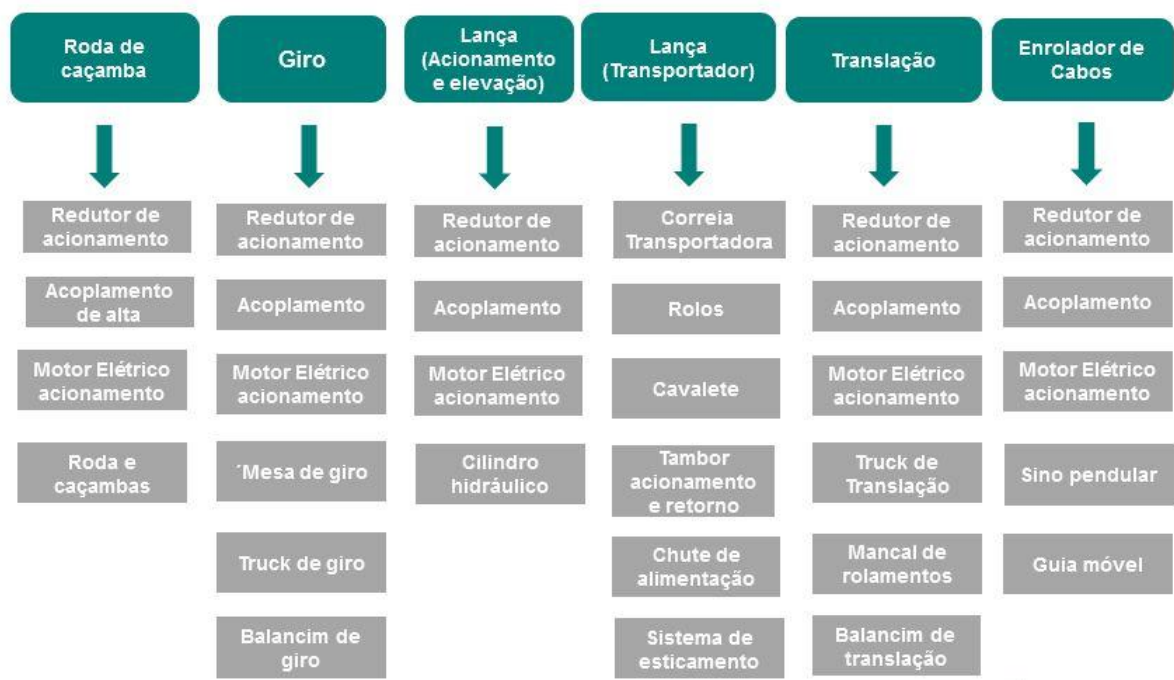
Após definido esses parâmetros, a ER foi dividida em 5 principais Sistemas: Sistema de roda de Caçamba, Sistema de Giro, Sistema da Lança, Sistema de translação e Sistema de enrolador de cabos; para análise FMEA, de acordo com a Figura 19:

Figura 19. Fluxograma divisão da ER 01 em sistemas.

Fonte: Autoria Própria.

A parti da divisão da ER em Sistemas, foi definido através dos mesmos parâmetros de criticidade (Tabela 2), 31 Subsistemas para a avaliação dos modos de falha, como ilustra Figura 20:

Figura 20. Fluxograma divisão da ER em subsistemas.



Fonte: Autoria Própria.

Para melhor entendimento de quais subsistemas impactam mais a ER em termos tempo de manutenção e número de falhas foi realizado levantamento do perfil de perdas da máquina, mostrado no Quadro 1

Quadro 1. Perfil de perdas dos principais subsistemas.

SUBSISTEMA	DURAÇÃO (h)	EVENTOS
Correia Transportadora - lança	170,32	142
Roda e Caçambas	48,03	14
Redutor de Acionamento	29,46	48
Roleta – Carga, Retorno e Impacto	20,65	24
Acoplamento hidráulico	15,26	14
Motor Elétrico de Acionamento	13,86	44
Enrolador de Cabos	13,06	9
Tambor de Acionamento	10,80	8
Chute de Alimentação	8,54	21
Cilindro Hidráulico	7,52	40
Truck de Translação e Giro	7,10	5
Mesa de Giro	0,27	3

Fonte: Autoria Própria.

Através do Quadro 1, se tem uma visão de quais subsistemas mais afetam a disponibilidade da ER. Pode-se observar que a correia do transportador, os redutores de acionamento e os motores elétricos de acionamento, são os modos de falhas que mais afetam a máquina em termos de número de eventos, ou seja, mais geram frequência de paradas corretivas. Os modos de falhas que mais afetam em termos de duração da falha é também o desalinhamento da correia do transportador e a roda e caçambas, porém a roda de caçambas, em vista do número de eventos, tem uma média maior de duração por modo de falha.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS - FMEA

Após a seleção dos sistemas e subsistemas a próxima etapa foi a elaboração de uma planilha de informações onde foram registradas todas as funções do sistema, os modos de falha e as causas de cada um mapeado. Para a construção desta planilha foram utilizados dados extraídos do catálogo técnico, manual do fabricante, laudos preditivos e desenhos técnicos dos subsistemas.

4.1.1 Funções dos Sistemas

Inicialmente foram definidas as funções dos Sistemas em estudo no Quadro 2. De uma forma geral essas funções se transformam em uma coleta de dados para o uso tanto da manutenção quanto da operação, além de servir de base para as demais etapas da análise dos modos de falha e causas.

Quadro 2. Funções dos subsistemas da ER.

FUNÇÃO DOS SISTEMAS	
Roda de Caçambas	Recuperar o minério a uma velocidade de 4,5 RPM.
Giro	Realizar Giro da lança a uma velocidade de 0 - 35 m/min.
Lança Acionamento e Elevação	Acionar a Lança a uma velocidade de 4m/seg e elevar a lança a uma velocidade de 4m/min.
Lança – Transportador	Transporta o minério a uma velocidade de 4m/seg.
Translação	Mover o equipamento em operação a uma velocidade de 15 m/min e mover o equipamento para posicionamento a uma velocidade de 3m/min.
Enrolador de Cabos	Enrolar e desenrolar cabos elétricos flexíveis automaticamente.

Fonte: Autoria Própria.

A partir das funções dos Subsistemas definidas pode-se ter uma visão mais clara das falhas que afetam essas funções para mitigação das mesmas.

4.1.2 Modos de Falhas.

Conforme sugere Zaions (2003), a partir da função definida dos Sistemas, foram avaliados todos os principais potenciais modos de falhas e com maior probabilidade de ocorrência para cada item. A figura 21 apresenta a Planilha FMEA que mostra a etapa de identificação dos modos de falha. Todos os modos de falha se encontram na planilha FMEA (Apêndice A)

Figura 21. Planilha FMEA com os modos de falhas de cada subsistema.

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos		
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:		
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00		
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			RESPONSÁVEL: Suené Dias		
			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;		
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA	
				MODO DE FALHA	CAUSAS
1	Roda de caçambas	Recuperar o minério a uma velocidade de 4,5 RPM	1.1 - Redutor de acionamento	1.1.1 - Falha de lubrificação	
				1.1.2 - Desgaste das engrenagens	
				1.1.3 - Falha nos rolamento	
				1.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	
				1.1.5 - Falha de montagem	
			1.2 - Acoplamento de alta	1.2.1 - Falha de lubrificação	
				1.2.2 - Folga no parafuso central	
				1.2.3 - Quebra do rolamento	

Fonte: Autoria Própria.

Com isso foram definidos todos os principais modos de falhas com histórico de falha como também os modos de falha com probabilidade de ocorrência com base em todas as análises já mencionadas. Após essa etapa concluída foi possível definir as causas para cada modo de falha como e apresentado na seção seguinte.

4.1.3 Causas dos Modos de Falha

Conforme Saxer (2015), após a realização de análises profundas de forma a detectar todos os modos de falha potenciais de cada um dos componentes da linha, é possível então prosseguir para as próximas etapas e itens contidos no formulário da FMEA, ou seja, na

identificação das causas e controles dos modos de falha para cada elemento e determinação dos índices de severidade, ocorrência e detecção para cada modo de falha.

A figura 22 apresenta parte da planilha de informações do conjunto das causas dos modos de falha identificados, sendo que a planilha com todos os sistemas e com o número de risco, que ainda será determinado, se encontra no **Apêndice A**.

Figura 22. Parte da planilha FMEA.

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos		
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:		
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00		
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			RESPONSÁVEL: Suene Dias		
			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;		
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA	
				MODO DE FALHA	CAUSAS
1	Roda de caçambas	Recuperar o minério a uma velocidade de 4,5 RPM	1.1 - Redutor de acionamento	1.1.1 - Falha de lubrificação	1.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação
					1.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação
					1.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado
					1.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado
					1.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante
					1.1.1.6 - Contaminação do lubrificante
				1.1.2 - Desgaste das engrenagens	1.1.2.1 - Falha de lubrificação
					1.1.2.2 - Folga nos rolamentos
				1.1.3 - Falha nos rolamento	1.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor
					1.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação
				1.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	1.1.4.1 - Sobrecarga operacional
					1.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/eixo da roda
					1.1.4.3 - Folga na fixação do redutor

Fonte: Autoria Própria.

Para a execução da ferramenta deve-se conhecer o processo de desenvolvimento para que as informações inseridas no formulário sejam realmente confiáveis. Além disso, quanto maior o grau de detalhamento, maiores serão as possibilidades de controle e acompanhamento na prevenção dos potenciais falhas.

4.1.4 Definição dos Índices de Criticidade

Um dos métodos para avaliação da priorização em termos de criticidade é a utilização do número de risco (RPN), do inglês *Risk Priority Number*. Jian-Ming, Cai *et al.* (2011) observam que o RPN é uma metodologia de análise dos riscos associados as falhas potenciais, com foco na priorização das ações de manutenção. A norma IEC 60300 (2006)

define risco como a combinação da frequência ou probabilidade de ocorrência, com o efeito gerado por um evento perigoso.

Para preenchimento dos itens de severidade, ocorrência e detecção, descritos no item 8 da seção 2.3.4.4, observou-se cuidadosamente qual o índice mais adequado para cada falha e sua respectiva causa, valendo-se da escala definida para cada item relacionados os quadros 4,5 e 6.

Quadro 3. Índices de probabilidade de detecção.

PROBABILIDADE DE DETECÇÃO		
Muito Remota	10	Os controles não irão detectar esse modo de falha ou não existem controles.
Remota	8	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo de falha.
Baixa	6	Há uma baixa probabilidade de os controles detectarem esse modo de falha.
Moderada	5	Os controles podem detectar o modo de falha.
Alta	3	Há uma alta probabilidade de os controles detectarem esse modo de falha.
Muito Alta	1	É quase certo que os controles irão detectar esse modo de falha.

Fonte: Autoria Própria.

A probabilidade de detecção, ou seja, a probabilidade de se detectar a falha antes de que ela ocorra, foi baseada através da análise de, se existiam controle para detecção das falhas, de se esses controles eram efetivos e assim numerados de acordo com os índices do Quadro 4.

Quadro 4. Índices de probabilidade de ocorrência.

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA		
Remota	1	A falha é improvável
Baixa	3	Relativamente poucas falhas
Moderada	5	Falhas ocasionais
Alta	8	Falhas Repetitivas
Muito Alta	10	Falhas quase que inevitáveis

Fonte: Autoria Própria.

Para a probabilidade de Ocorrência foi definido os índices para cada modo de falha através do perfil de perdas levantado do equipamento, assim foi possível identificar a frequência das falhas e numerar de acordo com o Quadro 5.

Quadro 6. Índices de severidade.

SEVERIDADE		
Mínima	1	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes talvez nem note sua ocorrência
Baixa	3	Quando provoca alguma insatisfação, o cliente observa apenas uma leve deterioração ou queda no desempenho
Moderada	5	Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda no desempenho ou mau funcionamento de partes do sistema
Alta	8	Quando provoca alta insatisfação do cliente, por exemplo, equipamento não opera sem comprometer a segurança ou implicar em improvisação
Muito Alta	10	Quando compromete a segurança da operação ou envolve improvisações, infração a regulamentos e normas.

Fonte: Autoria Própria.

Na análise da Severidade foi usado os parâmetros de criticidade da tabela 2, definida na seção 3.2., ou seja, foi definido o índice de severidade baseado na frequência de falha e no tempo de manutenção, os quais impactam mais na disponibilidade. Com isso se uma falha tem uma frequência muito alta, ocorre muitas vezes, ela vai ter uma severidade maior, o mesmo acontece para uma falha que gera um tempo muito grande de manutenção.

Com base nisso a parti das análises feitas foram definidos os índices de criticidade na planilha FMEA e calculado o RPN para cada causa dos modos de falhas, como mostra a Figura 23:

Figura 23. Planilha FMEA completa com os índices de criticidade.

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos					
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:					
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00					
			RESPONSÁVEL: Suenes Dias					
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;					
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES		
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S RPN
1	Roda de caçambas	Recuperar o minério a uma velocidade de 4,5 RPM	1.1 - Redutor de acionamento	1.1.1 - Falha de lubrificação	1.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	2	5	3 30
					1.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	3	3	5 45
					1.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	5 45
					1.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3 30
					1.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	5 125
					1.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	3	8	5 120
				1.1.2 - Desgaste das engrenagens	1.1.2.1 - Falha de lubrificação	3	3	5 45
					1.1.2.2 - Folga nos rolamentos	3	2	5 30
				1.1.3 - Falha nos rolamento	1.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	3	5	5 75
					1.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	5 75

Fonte: Autoria Própria.

Concluído a definição dos índices de criticidade, foi feita uma análise para selecionar entre as 271 causas, quais dentro das análises de criticidades já definidas anteriormente, tem os números de RPN maiores, isso para mais tarde serem priorizadas dentro do plano das ações. Isso se dá devido ao número elevado de causas, as quais serão traçadas ações para cada uma, resultara em um número muito elevado de ações, as quais necessitam de priorização das mais críticas, por gerarem altos custos de manutenção, que nem sempre a empresa está disposta ou se tem recurso para tal e também é usada como uma forma de equacionar *trade-off* existente: Redução do tempo de parada para manutenção × Aumento da confiabilidade do sistema, ou seja, muitas paradas para manutenção nos subsistemas de expedição, geram perdas de volume de minério transportado, por outro lado, a não execução das pautas de manutenção preventiva reduz a confiabilidade do sistema. Para isso é necessária tal priorização que é feita através de uma linha de corte mais detalhada na seção 4.1.5 seguinte:

4.1.5 Linha de Corte RPN

Com o RPN calculado foi definido uma linha de corte para priorização das ações, ou seja, foram selecionados os RPN's mais elevados, que demonstram uma criticidade mais alta necessitando de priorização. Isso foi definido através da média e da mediana de todos os valores do RPN, como ilustra a Figura 24:

Figura 24. Índices de Criticidade: destaque dos RPN mais elevados.

ÍNDICES			
D	O	S	RPN
2	5	5	50
3	3	8	72
3	3	5	45
5	3	5	75
5	5	5	125
3	5	5	75
3	8	8	192

Média:	85
Median	75

Fonte: Autoria Própria.

Os valores de RPN elevados foram definidos através da Mediana e Média de todos os valores de RPN calculados anteriormente, como mostra na Figura 24. Obteve-se uma média de 85 o que define que valores de RPN a partir de 85 são considerados críticos dentro do plano de ação para priorização.

4.1.6 Plano de Ação

Após definido os modos de falhas, as causas e o RPN, foram possíveis definir as ações de caráter preventivo, preditivo, de inspeção e lubrificação recomendadas. Segue abaixo parte do plano com as ações determinadas, completa no **apêndice B**:

Figura 25. Plano de ação da ER.

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
ITE**	Modo de Falha	Causa	Ação	Setor	RPN
1	1.1.1 - Falha de lubrificação	1.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	Inspeção do nível de óleo lubrificante.	Inspeção	30
		1.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	Avaliar a presença de ruídos anormais, e a pressão de saída.	Inspeção	45
		1.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	45
		1.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	Realizar padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		1.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeccionar a temperatura de trabalho do redutor e condições de limpeza.	Inspeção	125
		1.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	Análise do óleo lubrificante.	Preventiva	120
	1.1.2 - Desgaste das engrenagens	1.1.2.1 - Falha de lubrificação	Item 1.1.1	Preventiva/Inspeção	45
		1.1.2.2 - Folga nos rolamentos	Análise de vibrações	Preventiva	30
	1.1.3 - Falha nos rolamento	1.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	Realizar alinhamento na troca do redutor	Preventiva	75
			Análise de vibrações	Preventiva	75
		1.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Análise de vibrações	Preventiva	75

Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 25, podemos observar o plano de ação, com os modos de falha, as causas e respectivamente para cada causa as ações com seu devido caráter, ou seja, se é uma ação preventiva, preditiva, de inspeção ou de lubrificação, e por fim os RPN's calculados onde os taxados de vermelho são os com criticidade alta para priorização.

4.1.7 Análise de Criticidade

A análise de criticidade é um meio para identificar e comparar os modos de falha para todos os subsistemas, avaliando-os através da relação da probabilidade de ocorrência

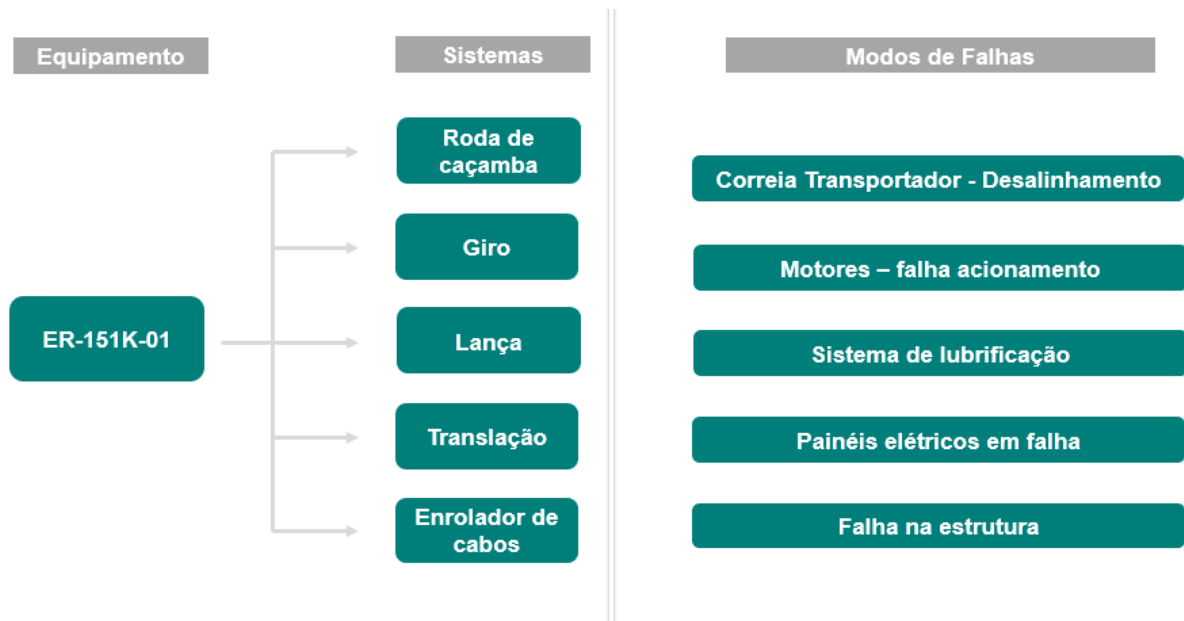
com a severidade. Onde um par de valores de severidade e frequência produzirão um nível de criticidade. Níveis de criticidade elevados são atribuídos para os modos de falha requerendo alta prioridade de ação preventiva. É importante ressaltar que a severidade nesse estudo está correlacionada aos parâmetros da Tabela 2, definidos na seção 3.2.

4.1.7.1 Probabilidade de Ocorrência – Frequência da Falha.

Foi objetivado a utilização da metodologia FMEA como uma ferramenta de identificação e/ou antecipação de falhas do processo manutenção, falhas estas que possam gerar impactos na disponibilidade do equipamento. Para tal, é preciso focar no RPN calculado, uma vez que por trás desse valor existe toda a análise de criticidade definida anteriormente, o qual sofreu a análise sob a ótica de confiabilidade e disponibilidade.

Com base nisso foram levantados todos os modos de falhas mapeados na FMEA referente ao elevado número de eventos que causam paradas corretivas que consequentemente afetam a disponibilidade da máquina como a produtividade da mesma e posteriormente identificado dentro da FMEA quais desses modos de falha obtiveram um RPN com alta criticidade (linha de corte definida na seção 4.1.5), mostrado na figura 26:

Figura 26. Modos de falha com maior frequência.



Fonte: Autoria Própria.

Assim demonstra os modos de falha que devem ter suas ações referentes priorizadas dentro do plano de ação, com o objetivo de mitigar a probabilidade ocorrência dos mesmos, diminuindo assim as paradas corretivas não programadas.

4.1.7.2 Gravidade/Severidade – Tempo de Manutenção

O mesmo foi feito para os modos de falhas referente ao tempo de manutenção. Foi analisado todos os modos de falhas que geram altos tempo de manutenção, após esse levantamento foi identificado quais desses modos de falha tinham o RPN de alta criticidade (linha de corte definida na seção 4.1.5), mostrado em parte na Figura 27.

Figura 27. Seleção dos RPN da roda de caçambas.

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01				
ITE**	Modo de Falha	Causa	Ação	RPN
1.4	1.4.1 - Falha no eixo	1.4.1.3 - Desgaste do eixo por abrasão do minério	Inspeção: Inspecionar pontos de fuga de material e dimensional do eixo.	128
		1.4.1.6 - Falha na fixação do eixo na roda	Preventiva: Aplicar o torque e elementos de fixação conforme especificado.	120
		1.4.1.7 - Falha na fixação do eixo no redutor	Preventiva: Aplicar o torque e elementos de fixação conforme especificado.	120
	1.4.2 - Falha nos mancais do eixo	1.4.2.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	Preventiva: MP de lubrificação dos rolamentos	120
		1.4.2.3 - Folga ou quebra dos rolamentos	Preditiva: Análise de vibrações	120
	1.4.3 - Falha na roda	1.4.3.3 - Deformação da estrutura da roda	Inspeção: Inspeção de presença de deformações	200
				200
	1.4.4 - Falha nas caçambas	1.4.4.2 - Desgaste na estrutura por desgaste do revestimento	Inspeção: Efetuar medição de desgaste do revestimento	120
		1.4.4.5 - Desgaste no revestimento dos dentes	Inspeção: Inspecionar o desgaste dos elementos	120
	1.4.5 - Falha no Chute	1.4.5.1 - Falha de fixação de revestimento e da estrutura do chute.	Inspeção: Inspecionar elementos de fixação.	120

Fonte: Autoria Própria.

Com base nisso podemos observar no Quadro 10 que o maior número de modos de falha relacionado ao tempo de manutenção se encontra nos subsistemas da Roda de Caçamba.

O que demonstra que o sistema de roda de caçamba, em termos de horas de manutenção, é o mais crítico levando. Temos como exemplo, a troca de um eixo do sistema roda de caçamba dura no mínimo 5 dias, assim como as falhas nas caçambas e dentes da caçamba também demanda um tempo grande de paradas corretivas pra troca ou reparo. Ou seja, as ações referentes ao sistema de Roda de Caçambas devem ser priorizadas no plano de Manutenção, pois a ocorrência delas geram paradas de longa duração, elevando a indisponibilidade do equipamento e gerando perda de produtividade no sistema.

4.2 CONFIABILIDADE

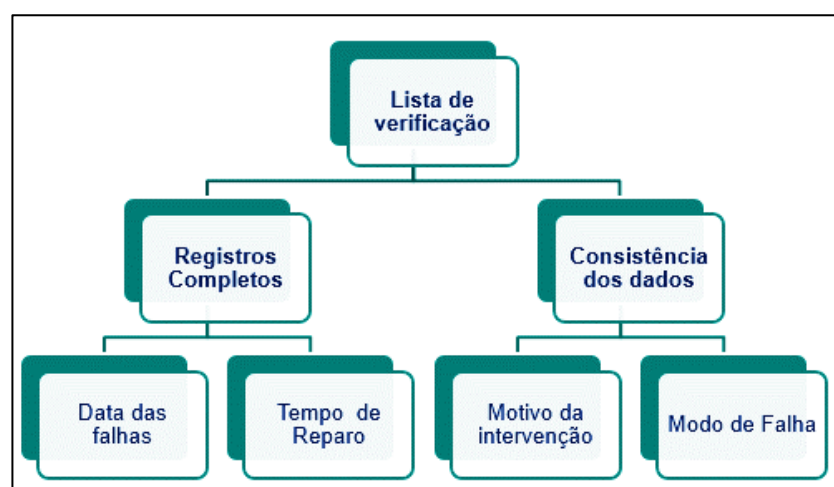
Levando em consideração as características do equipamento apresentadas anteriormente, e a sua fundamental importância para a produção, foi aplicada uma metodologia de trabalho partindo primeiramente da coleta de dados contidas no sistema interno da empresa, onde a análise foi feita para um período de um ano, e a partir do tratamento dos dados de confiabilidade armazenados no sistema foi possível adequá-los, permitindo o seu uso no referente estudo, podendo assim obter valores de tempo entre falhas e tempos de reparo para os diversos modos de falhas encontrados.

4.2.1 Análise dos dados

A partir dos dados obtidos foi montada uma lista de verificação, onde os registros foram submetidos a esta lista. A primeira questão consistiu em verificar se os registros estavam completos, ou seja, se todos os campos de datas e modos de falha estavam preenchidos, em seguida foi analisada a consistência dos dados verificando se o motivo das intervenções estava coerente com os modos de falhas apresentados.

A validade dos valores de tempos entre falhas e tempos de reparo foi verificada nas seguintes hipóteses. Tempos entre falhas muito pequenos, às vezes poucos minutos, segundos ou nenhuma hora de operação são anormais, datas de indisponibilidade muito longas, às vezes um ano, não são normais, descartando dessa forma esses tipos de dados. A Figura 28 mostra a lista de verificação dos dados.

Figura 28. Lista de verificação dos dados.



Fonte: Autoria Própria.

Após as verificações e das análises do início e final da ocorrência das falhas, foi possível calcular o tempo entre falha para cada evento, sendo possível obter também os dados de tempo de reparo para cada modo de falha, seguindo assim a recomendação da literatura que afirma que os tempos entre falhas sejam calculados sobre os tempos de operação.

Como a quantidade de registros contidos no banco de dados é muito grande, e a análise é feita manualmente um a um, o tratamento completo de todos os dados demandaria muito tempo, sendo necessário definir uma lista de prioridades, sendo assim optou-se por utilizar os dados do último ano de operação do equipamento, sendo este um dos mais impactados em relação a sua disponibilidade física. A Figura 29 mostra uma parte dos dados obtidos após o tratamento da base.

Figura 29. Dados de tempos até a falha e tempo de reparo de um dos meses analisados.

MESES	TEMPO ATÉ A FALHA (Hs)	TEMPO DE REPARO (Hs)	NATUREZA	CLASSE
JANEIRO	131,45	0,05	Automação	Rede (Comunicação) - Falha de comunicação
	328,51	0,14	Redes e Linhas	Geral - Sub/Sobre Tensão
	435,4	0,15	Automação	PLC e remota - Falha de comunicação
	440,72	6,67	Elétrica	Circuito de Força - Defeito no cabeamento
	339,75	0,2	Automação	Rede (Comunicação) - Falha de comunicação
	302	2,71	Automação	Rede (Comunicação) - Falha de comunicação
	630,23	0,51	Elétrica	Sistema Enrolador de Cabo - Defeito no cabeamento
	655,42	0,47	Mecânica	Roleta de carga - Quebra
	690,5	0,41	Mecânica	Roleta auto-alinhante - Deslocamento
FEVEREIRO	159,4	0,75	Mecânica	transportador de correia do trailer/tripper - Travamento dos roletes de retorno
	166,65	0,77	Elétrica	Componentes de comando, proteção e controle - Falha Chave de fluxo/vazão
	193,94	1	Redes e Linhas	Falta Energia - Sub/Sobre Tensão
	446,54	0,24	Mecânica	Acoplamento - transportador da lança - Vazamento
	9,67	0,07	Mecânica	Acoplamento - transportador da lança - Vazamento
	490,68	3,09	Mecânica	Redutor - elevação da lança - Quebra
	480,05	0,41	Mecânica	Redutor - transportador da lança - Quebra
	519,85	0,72	Elétrica	Motor acionamento - Curto-circuito
	403,5	1,47	Redes e Linhas	Falta Energia - Sub/Sobre Tensão
MARÇO	94	0,86	Mecânica	Transportador de correia da lança - Quebra dos roletes de impacto
	2,02	3,16	Mecânica	Transportador de correia da lança - Quebra dos roletes de impacto
	199,38	0,77	Redes e Linhas	Falta Energia - Executando reparos
	1,22	0,28	Redes e Linhas	Falta Energia - Executando reparos
	256,53	0,11	Elétrica	Painel elétr. (CCM, gaveta, força, comando, etc) - Mau contato
	211,87	0,72	Elétrica	Painel elétr. (CCM, gaveta, força, comando, etc) - Curto-circuito
	483	0,73	Mecânica	Proteções - Avaria
	549,02	0,56	hidráulica - elevação	Unidade hidráulica - elevação da lança - Vazamento
	567,07	0,45	Mecânica	Redutor - giro - Desalinhamento/folga do redutor
	702,02	2,73	Elétrica	Cabo e fiação - Rompimento

Fonte: Autoria Própria.

4.2.2 Ponto Ótimo de Manutenção

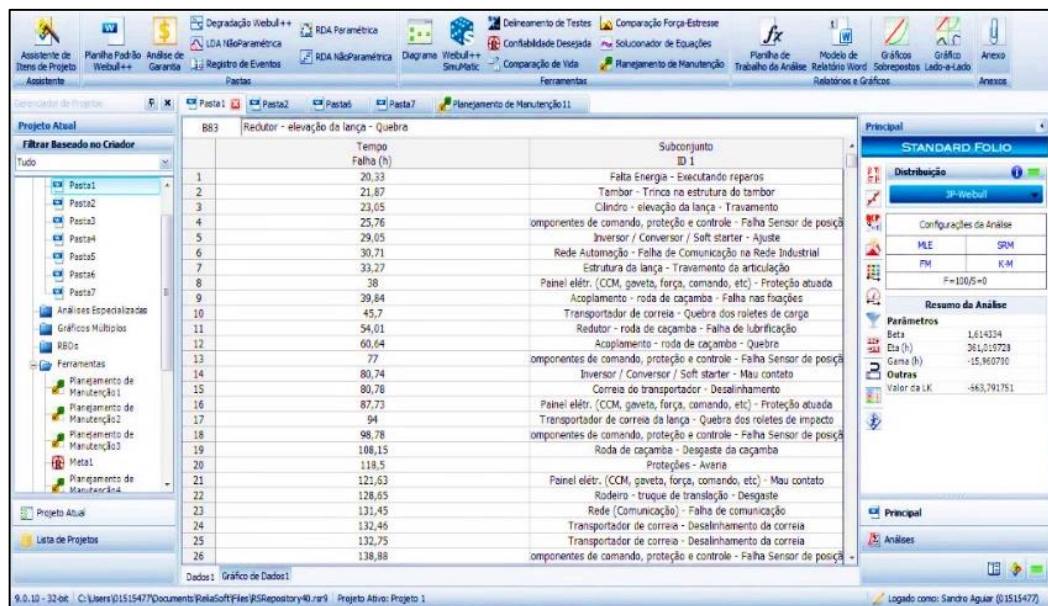
A utilização da distribuição Weibull e não da demais distribuições, se deu pelo fato de que através da weibull se pode modelar uma função de risco, saber se ela está diminuindo, aumentando ou permanece constante, permitindo que ela descreva qualquer fase da vida útil de um produto, respondendo o questionamento de quando o desgaste rápido está previsto para ocorrer, ou seja, quando a manutenção regular deve ser programada para impedir que o

equipamento entre em sua fase de desgaste. Assim fundamental para determinação do ponto ótimo de manutenção, além de que é uma distribuição é fácil de interpretar e muito versátil.

A parti disso, utilizando o software Weibull ++ foi possível realizar as análises de falhas do equipamento, levando em consideração cada modo de falha específico, foram inseridos no programa os Modos de Falha tratados (Figura 29), juntamente com os seus respectivos dados de tempo de falha.

Feito isso, utilizou-se a função analisador para verifica qual distribuição se adequava aos parâmetros fornecidos, ou seja, qual se adequa aos tipos de dados de falha que foi obtido. Sendo assim a distribuição indicada pelo analisador foi o Weibull 3P, ou seja, função com os três parâmetros característicos da distribuição. As Figuras 30 e 31 mostram a interface do programa juntamente com o valor de cada parâmetro que foi calculado.

Figura 30. interface do programa Weibull ++.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 31. Parâmetros da distribuição Weibull.

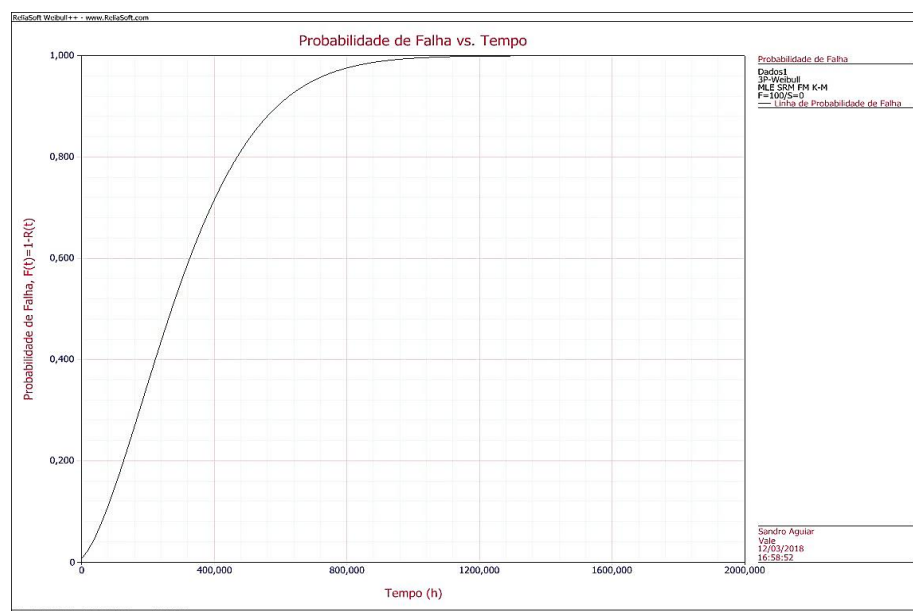


Fonte: Autoria Própria.

A Figura 31, traz o resumo da análise feita na Weibull, onde se pode observar um valor de $\beta > 1$, o que dentro dentro da curva da banheira (seção 2.3.5.1) se tem uma taxa de falha crescente, ou seja, equipamento está entrando na fase de desgaste.

Após ter calculado os parâmetros característicos da distribuição, foi possível plotar o gráfico que correlaciona a probabilidade de falha pelo tempo, onde foi verificado que a taxa de falha ocorre de forma crescente, ou seja, aumenta com o passar do tempo, o que confirma o fato de que o parâmetro de forma calculado $\beta > 1$, que é característico das funções com taxas de falha crescente. O gráfico 14, mostras a curva de taxa de falha versus o tempo.

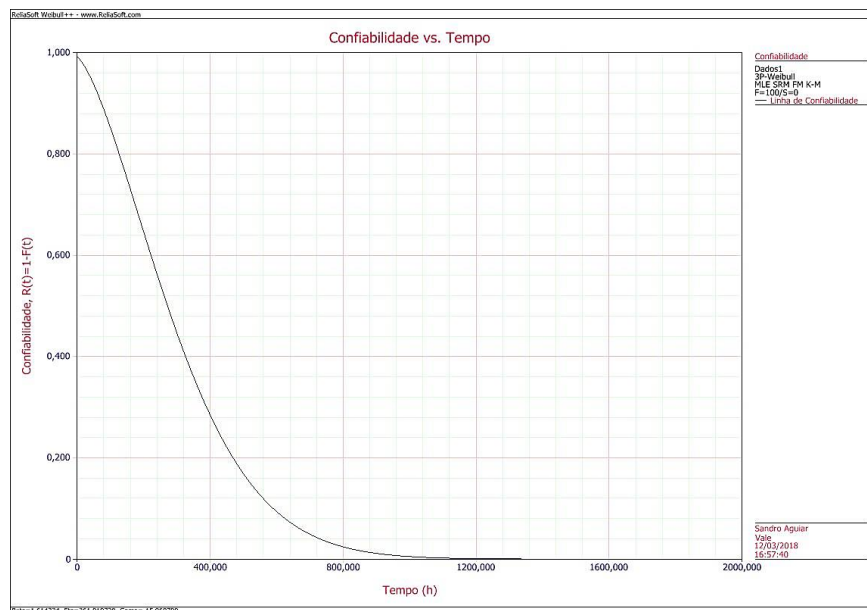
Gráfico 14. Probabilidade de falha versus o tempo.



Fonte: Autoria Própria.

Após ter sido traçada a curva de probabilidade de falha versos o tempo, foi possível plotar a curva que mede a confiabilidade do equipamento pelo tempo, e seguindo as premissas da crescente probabilidade de falha, percebe-se que a confiabilidade reflete nesse valor, ou seja, a medida que o tempo aumenta a confiabilidade diminui gradativamente, pois nesse período está ocorrendo uma elevada taxa de falha. O gráfico 15 mostra a confiabilidade do equipamento em função do tempo.

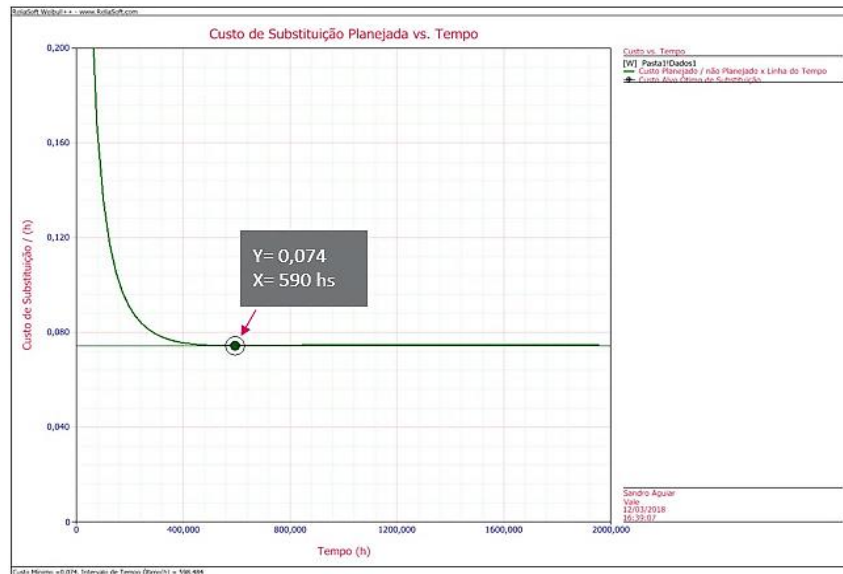
Gráfico 15. Confiabilidade vs o tempo.



Fonte: Autoria Própria.

Levando em consideração a elevada taxa de falha pelo tempo, e consequente a baixa confiabilidade do equipamento, foi possível encontrar qual seria o intervalo ótimo de manutenção com objetivo de aumentar a disponibilidade física do equipamento, este intervalo corresponde ao ponto em que a probabilidade da ocorrência de falha é maior, e consequentemente para esse ponto a confiabilidade é baixa. O gráfico 16 representa o intervalo ideal para manutenção, mostra o quanto isso representa em horas.

Gráfico16. Intervalo ótimo de manutenção (h).



Fonte: Autoria Própria.

Através do Gráfico 13, obtido de todas as análises estatística de confiabilidade realizadas, obteve-se o ponto ótimo de manutenção, ou seja, o intervalo estatisticamente ideal, seria de 590 dias. Atualmente o intervalo de manutenção programada da ER é de 720 horas.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

O estudo exposto neste trabalho apresentou a utilização prática da ferramenta FMEA, aliada ao conceito de RCM, empregada na redução da probabilidade de falha da máquina Empilhadeira e Recuperadora de uma empresa mineradora.

Com base nisso, as tarefas de manutenção foram estabelecidas por meio de uma lógica de decisão e a elaboração do plano de manutenção baseado nos conceitos de RCM. Com isso, foram identificadas 5 falhas funcionais, 102 modos de falha e 271 causas para cada modo de falha.

Como estratégia de manutenção, foi classificada dentre essas falhas, as que trazem mais risco para o equipamento em termos de disponibilidade que é o objetivo maior desse trabalho, isso através da filtragem dos RPM's com numeração de criticidade mais alto, obtendo-se um total de 104 modos de falhas críticos, os quais causam mais impacto no equipamento, os quais é possível identificar na planilha FMEA.

Foram criadas 271 ações de caráter preventivo, preditivo, de inspeção e lubrificação para mitigação da probabilidade risco. Nesse momento é necessário entender que muitas dessas ações já são realizadas no plano de manutenção da ER, porem muitas vezes de forma não eficiente. Por exemplo, atualmente durante a inspeção dos rolos é feito apenas a verificação se o rolo está travado, e através do FMEA a análise feita dos modos de falha nos diz que se deve também verificar as fixações, se há ruído ou vibração no conjunto, etc., ou seja, o FMEA traz essa especificação, para melhorar efetivamente o plano através de estabelecimento de procedimentos adequados a falhas que ocorrem hoje. Com isso muitas das ações listadas no FMEA acabam por se tornando apenas uma dentro do Plano de manutenção, porém de forma mais eficiente com uma estrutura de procedimentos.

Baseado criticidade e na frequência de falhas, foi concluído os modos de falhas que necessitam de priorização dentro do plano de manutenção por afetarem mais elevada o equipamento em termos de disponibilidade, que são: Desalinhamento da correia Transportadora, Falha nos acionamentos- motor e redutor, Sistema de lubrificação, Falha na estrutura. E por fim baseado no tempo de manutenção a Roda de caçamba teve resultado como o sistema mais crítico, quais as ações referentes devem ser priorizadas.

Levando em consideração o parâmetro de forma calculado ($\beta > 1$) e o comportamento da função probabilidade de falha versos o tempo é possível chegar à seguinte

conclusão que o equipamento em estudo encontra-se na fase de vida útil apresentando tendências para a fase de desgaste do equipamento já que as falhas ocorrem de forma crescente e com modos de falha diferente em um curto intervalo de tempo, este fato pode ser explicado devido o equipamento está submetido a condições severas de trabalho, o tipo de matéria o ambiente a qual está inserido fatores esses que influenciam negativamente acelerando assim a fase de desgaste do equipamento. Desse modo surge a necessidade de um estudo para aumentar a confiabilidade do equipamento mantendo com isso a fase de vida útil do ativo e consequentemente aumentando sua disponibilidade física. Fazendo uma analogia com o intervalo de manutenção proposto estatisticamente e o período de realização da manutenção na empresa atualmente, temos atualmente um intervalo de manutenção de 720h, estatisticamente através dos resultados temos um ponto ótimo de manutenção de 590h, seria o intervalo para manutenção preventiva ideal proposto por esse trabalho. dessa forma pode-se perceber que o equipamento trabalha 130h a mais do que o ideal, podendo dessa forma a probabilidade de ocorrência de falhas nesse período assumir valores maiores reduzindo a confiabilidade do equipamento.

Podemos concluir que realizada a eliminação ou mitigação de modos de falha encontrados no processo e a implementação de ações preventivas para desvios, se pode obter a eliminação ou redução da probabilidade das falhas, gerando aumento na disponibilidade do equipamento, além de possibilitar a redução de potenciais custos com retrabalho e perdas de produção. Diante das evidências apresentadas, se percebe que sem a realização de uma análise de falhas do processo, a ocorrência de modos de falha identificados pela aplicação da FMEA sucederia em grande escala, por esse motivo, esta metodologia mostra ser um artifício eficiente aplicação.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Depois de realizado o FMEA para a ER que apresentaram altos índices de falhas e que acarretaram tempos elevados de interrupção no processo produtivo ao longo do ano recorrido, é importante citar como sugestão:

- ✓ Destinar o FMEA estruturado na criação de um novo plano de manutenção ou para melhorar a eficiência do mesmo, aplicando criando procedimentos estruturados;
- ✓ Continuação da análise dos modos e efeitos de falhas para o restante dos equipamentos envolvidos no processo, para que dessa forma torne-se mais fácil classificar a criticidade dos equipamentos e melhorar a priorização de ações.
- ✓ Realização de uma análise dos custos envolvidos na adoção das medidas recomendadas com o FMEA, e assim avaliar de forma assertiva o comportamento da confiabilidade versus os custos de manutenção.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e maneabilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BARAN, Leandro Roberto. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada na redução de falhas: um estudo de caso**. 2012.

BARBOSA, J. P. **Modelagem da Confiabilidade de Equipamentos Por Combinações Ou Extensões de Distribuições de Weibull**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

BAZONI, ANDERSON ACÁCIO F. et al. **Implantação do Diagrama de Ishikawa Em uma Empresa do Segmento de Tintas e Materiais para Construção, para Solucionar Problemas de Estocagem e Recebimento**, 2015.

BLOOM, N. B. **Reliability Centered Maintenance: implementation made simple**. New York: McGraw-Hill, 2006.

CALVACA K. L., **Confiabilidade em Engenharia** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA. Campinas, 2000.

CARNEIRO, H. P. **Automação Inteligente da Operação de Máquinas de Pátio em Modo Recuperação de Minério do Terminal Portuário de Ponta da Madeira – VALE**. 2009. 78 f. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Portuária) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CARTER, A. D. S.; **Mechanical reliability**. 2nd ed., Ed. Macmillan, London, 1986.

CATERPILAR GLOBAL MINING. **Influenciar o Desempenho de Equipamentos Através de Métricas de Manutenção**, 2008. Disponível em: <
https://mining.cat.com/cda/files/2785445/12/metrics_PT.pdf>. Acesso em: 21/03/2015.

CONNOR, P.D.; **Practical reliability engineering**. 4 ed., Ed. Willey, England, 2002.

COSTA e SILVA, **Manutenção Centrada na Confiabilidade Aplicada ao Sistema de Climatização da Sala de Comando da Uhe -Tucuruí**. Universidade Federal do Pará, Tucuruí-PA, 2016.

DE SANTANA SEIXAS, Eduardo; **Determinação do Intervalo Ótimo ara Manutenção: Preventiva, Preditiva Detectiva**. BRASIL, Reliasoft.

DE SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Qualitymark, 2005.

DHILLON, B. S. **Engineering maintenance: a modern approach**. 2ª. ed. Florida: CRC Press , 2002.

DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1ª. ed. New York: CRC Press, 2006.

EN, N. P. 13306: 2007: **Terminologia da Manutenção**. Instituto Português da Qualidade, 2007.

ENGETELES, **FMEA: que é e como fazer**, <<https://engeteles.com.br/fmea-o-que-e-como-fazer/>> Acesso em: 26/01/2018

FARIA P. H., **Estudos de Confiabilidade de Manutenção em Sistemas de Expedição de produtos de Mineração**. Porto Alegre, 2015.

FARIA, Pedro Henrique Librelon de. **Estudos de confiabilidade de manutenção em sistemas de expedição de produtos de mineração**. 2014.

FREITAS, M. A.; COLOSIMO, E. A. **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, série Ferramentas da Qualidade n. 12, p. 309, 1997.

GARCIA, Thiago Costa. **Aplicação dos conceitos de RCM e a ferramenta FMEA no aumento de confiabilidade em equipamentos de uma indústria química**. 2013.

GUTIÉRREZ, A. M. **Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: enfoque sistémico kantiano**. 1ª. ed. Colômbia: AMG, 2005.

HELMAN, Horácio e ANDERY, P.R.P. **Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA - FTA)**, Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 1995.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION et al. **Analysis Techniques for System Reliability: Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**. International Electrotechnical Commission, 2006.

JIAN-MING, CAI; ET AL. **The Risk Priority Number methodology for distribution priority of emergency logistics after earthquake disasters**. *Management Science and Industrial Engineering (MSIE)*, 2011 International Conference on..., p.560-562, 8-11 Jan. 2011.

KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001

LEVERETTE, J. C. **An Introduction to the US Naval Air System Command RCM Process and Integrated Reliability Centered Maintenance Software**. In: **RCM 2006 – The Reliability Centred Maintenance Managers’ Forum**. 2006.

MARQUES, Ramiro Queirolo. **Criação de um plano de manutenção para o equipamento torno descascadeira utilizando conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e Manutenção Produtiva Total (MPT).** 2012.

MATOS e ZOTTI, **Análise de Confiabilidade Aplicada à Indústria para Estimações de Falhas e Provisionamento de Custos.** Universidade Federal do Paraná, 2010.

MENDES, Angélica Alebrant; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Um estudo do suporte quantitativo necessário para a operacionalização da MCC.** *Production*, v. 21, n. 4, p. 583-593, 2011.

MICHAELIS. **Dicionário da Língua Portuguesa**, 2000.

MONTEIRO N.j., EPAEP **Análise de Operações de Expedição e Carregamento de Minério para Transporte em uma empresa mineradora no Estado do Pará: Estudo baseado em mapeamento de processos e componentes logísticos.** Encontro Paraense de Engenheiros de Produção, 2015.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance:** second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MOUBRAY, John. **The case against streamlined RCM.** Aladon, UK, 2000.

NBR 9320, **Confiabilidade de equipamentos, recomendações gerais - procedimento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1986.

O'CONNOR, Patrick D.T. **Practical Reliability Engineering.** 4. Ed. Chichester: Wiley, 2005.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeito: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 1997.

PÉRÈS F., NOYES D.; “Evaluation of a maintenance strategy by the analysis of the rate of repair” **Quality and Reliability Engineering International**, 2003.

PINTO, A. K., XAVIER, J.A. N. **Manutenção Função Estratégica**, Rio de Janeiro, Ed. Qualitymarck, 2001.

PULCINI, G, **Modeling the failure data of a repairable equipment with bathtub type failure intensity.** *Reliability Engineering and System Safety*, 71 (2001), 209-218.

RELIASOFT CORPORATION, **Weibull e Análise de Dados de Vida**, Tucson, AZ USA, 2016.

RIBEIRO, José; FOGLIATTO, Flávio. **Confiabilidade e manutenção industrial.** Belo Horizonte: Elsevier, 2009.

RODRIGUES, E. M, Faculdade Ietec Pós-graduação Engenharia de Manutenção –Turma 507/2017 **Gestão da Manutenção em Mineração de Agregados.**

RODRIGUES, M. V. (2014). **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistemas de qualidade Seis Sigma**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

SAXER, PATRICIA. **Aplicação da FMEA para Análise de Riscos na Qualidade do Processo de Embalagens em uma Multinacional de Agroquímicos**, São Paulo 2015.

SEBRAE, **Manual de Ferramentas da Qualidade** [Internet], 2005 [cited 2011 Sept]

SEIXAS, Eduardo de Santana. **Manutenção Centrada na Confiabilidade Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos**. Artigo, REALISOFT. São Paulo, S/d, 2010.

SELLITTO, M. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Produção, v.15, n.1, p.44-59, 2005.

SHARMA, A.; YADAVA, G. S.; DESHMUKH, S. G. **A literature review and future perspectives on maintenance optimization**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 7, n. 1, p. 5-25, jan-abr 2011.

STAMATIS, D.H.. **Failure Mode and Effect Analysis**. ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, 1995; Ford. Quality System Requirements - QS-9000. USA, 1994.

TROMBETA, A. Artigo **A Quarta Geração da Manutenção, publicação internet**, 2016, disponível em <www.linkedin.com/pulse/quarta-geracao-da-manutencaomealessandro-trombeta-mba/trk=mp-reader-card> acessado em 15/02/2018.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed. 2002.

WILLIAMS, Richard L. **“Como Implantar a Qualidade Total na sua Empresa”**. 1ª edição, Rio de Janeiro Ed.: Campus, 1995.

ZAIONS, Douglas R. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel**. 2003. 219 f. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

ZHU H. et al.; **“A Cost-based Selective Maintenance Decision- making Method for Machining Line”** Quality and Reliability Engineering International, Published Online, 2010.

APÊNDICE A: Planilha FMEA

FMEA			Planilha FMEA - Analise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
			RESPONSÁVEL: Suene Dias						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
1	Roda de caçambas	Recuperar o minério a uma velocidade de 4,5 RPM	1.1 - Redutor de acionamento	1.1.1 - Falha de lubrificação	1.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	2	5	3	30
					1.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	3	3	5	45
					1.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	5	45
					1.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					1.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	5	125
					1.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	3	8	5	120
				1.1.2 - Desgaste das engrenagens	1.1.2.1 - Falha de lubrificação	3	3	5	45
					1.1.2.2 - Folga nos rolamentos	3	2	5	30
				1.1.3 - Falha nos rolamento	1.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	3	5	5	75
					1.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	5	75
				1.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	1.1.4.1 - Sobrecarga operacional	2	3	8	48
					1.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					1.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	3	3	5	45
				1.1.5 - Falha de montagem	1.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	2	8	8	128
			1.2 - Acoplamento de alta	1.2.1 - Falha de lubrificação	1.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	2	5	5	50
					1.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	8	72
					1.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					1.2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	8	200
			1.2.2 - Folga no parafuso central	1.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central		3	5	5	75
			1.2.3 - Quebra do rolamento	1.2.3.1 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação		3	5	8	120
			1.3 - Motor elétrico de acionamento	1.3.1 - Falha de sobreaquecimento	1.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	2	5	3	30
					1.3.1.2 - Rolamento com defeito	3	3	8	72
					1.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	3	3	5	45
					1.3.1.4 - Sobrecarga operacional	3	5	8	120
				1.3.2 - Falha no eixo	1.3.2.1 - Falha no rolamento	3	3	8	72
					1.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					1.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	3	8	8	192
					1.3.2.3 - Divergencia no ajuste de montagem com o acoplamento	3	8	8	192
				1.3.4 - Elevado nível de vibração	1.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	3	5	5	75
					1.3.2.2 - Folga nos mancais	3	3	5	45
				1.3.5 - Defeito na partida do motor	1.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	2	2	5	20
					1.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	3	5	8	120

FMEA			Planilha FMEA - Analise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			RESPONSÁVEL: Suené Dias						
			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
1	Roda de Caçambas	Recuperar o minério a uma velocidade de 4,5 RPM	1.4 - Roda e caçambas	1.4.1 - Falha no eixo	1.4.1.1 - Quebra ou deformação do eixo devido à cargas de impacto e sobrecargas.	5	3	8	120
					1.4.1.2 - Sobrecarga devido ao aumento de massa na roda	6	2	8	96
					1.4.1.3 - Desgaste do eixo por abrasão do minério	3	3	8	72
					1.4.1.4 - Fadiga/fratura do eixo, buchas e prisioneiros dos segmentos do eixo	5	3	8	120
					1.4.1.5 - Folga no alojamento dos rolamentos	3	5	5	75
					1.4.1.6 - Falha na fixação do eixo na roda	3	5	8	120
					1.4.1.7 - Falha na fixação do eixo no redutor	3	5	8	120
				1.4.2 - Falha nos mancais do eixo	1.4.2.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	3	3	8	72
					1.4.2.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	2	5	5	50
					1.4.2.3 - Folga ou quebra dos rolamentos	3	2	8	48
					1.4.2.4 - Folga na fixação dos mancais	3	5	5	75
				1.4.3 - Falha na roda	1.4.3.1 - Desgaste da estrutura por desgaste do revestimento	3	3	8	72
					1.4.3.2 - Desgaste da estrutura por falta de revestimento	2	3	8	48
					1.4.3.3 - Deformação da estrutura da roda	5	5	8	200
				1.4.4 - Falha nas caçambas	1.4.4.1 - Falha na fixação das caçambas	5	3	8	120
					1.4.4.2 - Desgaste na estrutura por desgaste do revestimento	3	5	8	120
					1.4.4.3 - Falha na fixação dos dentes das caçambas	3	3	8	72
					1.4.4.4 - Quebra dos dentes das caçambas	2	5	8	80
					1.4.4.5 - Desgaste no revestimento dos dentes	3	5	8	120
				1.4.5 - Falha no Chute	1.4.5.1 - Falha de fixação de revestimento e da estrutura do chute.	3	5	8	120
					1.4.5.2 - Falha na detecção de desgaste do revestimento	3	5	5	75

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
			RESPONSÁVEL: Suené Dias						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
3	Giro	Realizar giro da lança a uma velocidade de 0 -35 m/min	2.1 - Redutor de acionamento	2.1.1 - Falha de lubrificação	2.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	2	5	3	30
					2.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	3	3	5	45
					2.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	5	45
					2.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					2.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	5	125
					2.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	3	8	5	120
				2.1.2 - Desgaste nas engrenagens	2.1.2.1 - Falha de lubrificação	3	3	5	45
					2.1.2.2 - Folga nos rolamentos	3	2	5	30
				2.1.3 - Falha nos rolamento	2.1.3.3 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	3	5	5	75
					2.1.3.4 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	5	75
				2.1.4 - Quebra dos eixos de entrada e saída	2.1.4.1 - Sobrecarga operacional	2	3	8	48
					2.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
				2.1.5 - Falha de montagem	2.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	3	3	5	45
					2.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	2	8	8	128
			2.2 - Acoplamento de alta	2.2.1 - Falha de lubrificação	2.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	2	5	5	50
					2.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	8	72
					2.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					2.2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	8	200
				2.2.2 - Folga no parafuso central	2.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central	3	5	5	75
				2.2.3 - Falha no rolamento	2.2.3.2 - Desgaste/Folga no rolamento - falha de lubrificação	3	5	8	120
			2.3 - Motor elétrico de acionamento	2.3.1 - Falha de sobreaquecimento	2.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	2	5	3	30
					2.3.1.2 - Rolamento com defeito	3	3	8	72
					2.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	3	3	5	45
					2.3.1.4. Sobrecarga operacional	2	5	8	80
				2.3.2 - Falha no eixo	2.3.2.1 - Falha no rolamento	3	3	8	72
					2.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					1.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	3	8	8	192
					1.3.2.3 - Divergencia no ajuste de montagem com o acoplamento	3	8	8	192
				2.3.3 - Elevado nível de vibração	1.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	3	5	5	75
					1.3.2.2 - Folga nos mancais	3	3	5	45
				2.3.4 - Defeito na partida do motor	1.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	2	2	5	20
					1.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	3	5	8	120

FMEA			Planilha FMEA - Analise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
			RESPONSÁVEL: Suené Dias						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
	Giro	Realizar giro da lança a uma velocidade de 0 -35 m/min	2.4 - Mesa de giro	2.4.1 - Falha na cremalheira/pinhão de giro	2.4.1.1 - Desgaste no alojamento do pino da mesa de giro e/ou folga nos elementos de fixação do pino	3	5	8	120
					2.4.1.2 - Pinos de giro com desgaste acentuado e fora do padrão com superfície irregular	3	5	8	120
					2.4.1.3 - Pinhão com desgaste acentuado e fora do padrão irregular	3	5	8	120
				2.4.2 - Quebra dos parafusos de fixação do colar da mesa de giro	2.4.2.1 - Sobrecarga devido impacto lateral da lança	3	5	8	120
					2.4.3.1 - Deformação/desgaste	5	5	5	125
					2.4.3.2 - Abertura e/ou desnível entre os segmentos	3	3	8	72
			2.5 - Truck de giro	2.5.1 - Falha do mancal	2.5.1.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	2	3	8	48
					2.5.1.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	2	5	8	80
					2.5.1.2 - Folga ou quebra dos rolamentos	3	2	8	48
					2.5.1.3 - Folga na fixação dos mancais e tampa lateral	3	5	5	75
				2.5.2 - Falha no eixo	2.5.2.1 - Sobrecarga operacional	5	3	8	120
					2.5.2.2 - Folga na fixação do redutor	3	5	5	75
				2.5.3 - Trinca na parte interna/externa da estrutura do truck	2.5.3.1 - Sobrecarga operacional	3	5	5	75
					2.5.3.2 - Desalinhamento/desnivelamento dos trilhos	3	8	5	120
				2.5.4 - Falha da roda	2.5.4.1 - Desgaste /deformação na pista da roda	2	8	5	80
			2.6 - Balancin de giro	2.6.1 - Falha da roda	2.6.1.1 - Desgaste / deformação na pista da roda	2	8	5	80
					2.6.1.2 - Quebra da roda por falha no processo de fabricação	8	2	8	128
				2.6.2 - Avaria na estrutura do balancin	2.6.2.1 - Desalinhamento/desnivelamento dos trilhos	3	8	5	120
					2.6.2.2 - Desgaste nos pinos de articulação	5	5	5	125

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
			RESPONSÁVEL: Suené Dias						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
3	Acionamento e elevação da lança	Acionar a lança a uma velocidade de 4 m/seg e Elevar a lança a uma velocidade de 4 m/min	3.1 - Redutor de acionamento	3.1.1 - Falha de lubrificação	3.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	2	5	3	30
					3.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	3	3	5	45
					3.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	5	45
					3.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					3.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	5	125
					3.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	3	8	5	120
				3.1.2 - Desgaste das engrenagens	3.1.2.1 - Falha de lubrificação	3	3	5	45
					3.1.2.2 - Folga nos rolamentos	3	2	5	30
				3.1.3 - Falha nos rolamento	3.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	3	5	5	75
					3.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	5	75
				3.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	3.1.4.1 - Sobrecarga operacional	2	3	8	48
					3.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					3.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	3	3	5	45
				3.1.5 - Falha de montagem	3.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	2	8	8	128
			3.2 - Acoplamento de alta	3.2.1 - Falha de lubrificação	3.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	2	5	5	50
					3.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	8	72
					3.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					3.2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	8	200
				3.2.2 - Folga no parafuso central	3.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central	3	5	5	75
				3.2.3 - Falha no rolamento	3.2.3.2 - Desgaste/Folga no rolamento - falha de lubrificação	3	5	8	120
			3.3 - Motor elétrico de acionamento	3.3.1 - Falha de sobreaquecimento	3.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	2	5	3	30
					3.3.1.2 - Rolamento com defeito	3	3	8	72
					3.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	3	3	5	45
					3.3.1.4. Sobrecarga operacional	2	5	8	80
				1.3.2 - Falha no eixo	3.3.2.1 - Falha no rolamento	3	3	8	72
					3.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					1.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	3	8	8	192
					3.3.2.3 - Divergência no ajuste de montagem com o acoplamento	3	8	8	192
				1.3.4 - Elevado nível de vibração	3.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	3	5	5	75
					3.3.2.2 - Folga nos mancais	3	3	5	45
				1.3.5 - Defeito na partida do motor	3.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	2	2	5	20
					3.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	3	5	8	120
			3.5 - Cilindro Hidráulico de elevação	3.5.1 - Vazamento interno	3.5.1.1 - Falha na haste do cilindro danificada e junções da parte da fixação superior.	2	8	8	128
				3.5.2 - Acumulo de contaminates no óleo	3.5.1.2 - Proteção da haste danificada	3	8	5	120

FMEA			Planilha FMEA - Analise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
4	Transportador da lança	Transportar minério a uma velocidade de 4 m / seg.	4.1 - Correia do transportador	4.1.1 - Desalinhamento da correia	4.1.1.1 - Queda de material descentralizado.	3	8	5	120
					4.1.1.2 - Falha de tensionamento	3	3	5	45
					4.1.1.3 - Acumulo de material na lança	2	8	5	80
					4.1.1.4 - Defeito de emenda da correia	3	5	8	120
					4.1.1.4 - Desnívelamento e desalinhamento de cavaletes, estruturas e tambores	5	5	5	125
				4.1.2 - Desgaste correia	4.1.2.1 - Desalinhamento do tambor	5	3	2	30
					4.1.2.2 - Falha no revestimento do tambor - atrito entre correia e tambor	3	5	3	45
					4.1.2.3 - Rolo desalinhado/quebrado	2	8	8	128
				4.1.3 - Rasgo de Correia/ Rasgo de borda.	4.1.3.1 - Desgaste da correia	3	5	8	120
					4.1.3.2 - Desalinhamento da correia	3	8	5	120
					4.1.3.3 - Contato da correia com a estrutura do transportador	5	3	3	45
					4.1.3.4 - Ruptura dos cabos de aço por sobrecarga de operação ou desgaste	3	5	8	120
				4.1.4 -Defeito emenda / abertura emenda	4.1.4.1 - Falha na execução da emenda (fora de esquadro).	3	3	8	72
					4.1.4.2 - Falha no processo de vulcanização.	5	3	8	120
					4.1.4.3 - Desalinhamento de correia	3	8	5	120
			4.2- Rolo de carga e impacto e retorno	4.2.1 - Desgate do rolo	4.2.1.1 - Operação em condição extrema - acumulo de material fugitivo proximo ao rolo	2	8	8	128
					4.2.1.2 - Desprendimento da borracha - má qualidade, processo de vulcanização inadequado - Rolo de retorno e carga	8	5	8	320
					4.2.1.3 - Aplicação inadequada do rolo	3	5	8	120
				4.2.2 - Quebra	4.2.2.1 - Desgaste do rolo	2	5	5	50
					4.2.2.2 - Travamento do rolamento	2	5	8	80
					4.2.2.3 - Rolo subdimensionado	5	2	8	80
					4.2.2.4 - Desalinhamento da correia (rolo de estrutura)	3	5	5	75
					4.2.2.5 - Procediemento inadequada de fixação do rolo no cavalete (solda de metal na ponta do eixo/utilização de ferramenta de impacto na ponta do eixo)	3	8	5	120
					4.2.2.6 - Utilização de cavalete inadequado	2	5	8	80
				4.2.3 - Travamento	4.2.3.1 - Acumulo de material.	2	8	3	48
					4.2.3.2 - Procediemento inadequada de fixação do rolo no cavalete (solda de metal na ponta do eixo/utilização de ferramenta de impacto na ponta do eixo)	3	8	5	120

FMEA			Planilha FMEA - Analise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			RESPONSÁVEL: Suené Dias						
			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
4	Transportador da Lança	Transportar minério a uma velocidade de 4 m / seg.	4.3 - Cavalete	4.3.1 - Quebra do cavalete	4.2.4.1 - Falha nas fixações do cavalete	3	5	5	75
					4.1.4.2 - Esforços provocados pela tensão de tração da correia	3	2	5	30
					4.1.4.3 - Deposição de material - não realização de descontaminação	3	8	5	120
			4.4 - Tambor de acionamento/retorno	4.4.1 - Falha do mancal	4.4.1.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	3	3	5	45
					4.4.1.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	3	5	5	75
					4.4.1.2 - Folga ou quebra dos rolamentos	3	2	8	48
					4.4.1.3 - Folga na fixação dos mancais	3	3	5	45
				4.4.2 - Quebra do eixo	4.4.2.1 - Fadiga	6	2	8	96
					4.4.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo do tambor	3	5	8	120
					4.4.2.3 - Folga na fixação do redutor	2	3	5	30
				4.4.3 - Falha no revestimento	4.4.3.1 - Falha de fixação de revestimento	3	3	8	72
					4.4.3.2 - Falha na detecção de desgaste do revestimento	5	2	3	30
			4.5 - Chute de alimentação	4.5.1 - Falha no Chute	4.5.1.1 - Falha de fixação de revestimento e da estrutura do chute.	3	5	8	120
					4.5.1.2 - Falha na detecção de desgaste do revestimento	3	5	5	75
					4.5.1.3 - Entupimento do chute devido alteração de projeto	3	5	8	120
					4.5.1.4 - Falta de limpeza	3	5	5	75
			4.6 - Sistema de Esticamento	4.6.1 - Falha do sistema de esticamento	4.6.1.1 - Cabo contrapeso danificado - desprendido	2	5	8	80
					4.6.1.2 - Quebra do cabo de esticamento do sistema tensor do contrapeso	2	5	8	80
					4.6.1.3 - Estrutura do contrapeso desalinhado	3	3	3	27
					4.6.1.4 - Desgaste acentuado no olhal de posicionamento do pino de fixação da roldana	2	5	2	20

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
			RESPONSÁVEL: Suené Dias						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
5	Sistema de Translação	mover o equipamento em operação a uma velocidade de 15 m/min e mover o equipamento para posicionamento a uma velocidade de 30 m/min	5.1 - Redutor de acionamento	5.1.1 - Falha de lubrificação	5.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	2	5	3	30
					5.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	3	3	5	45
					5.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	5	45
					5.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					5.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	5	125
					5.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	3	8	5	120
				5.1.2 - Desgaste das engrenagens	5.1.2.1 - Falha de lubrificação	3	3	5	45
					5.1.2.2 - Folga nos rolamentos	3	2	5	30
				5.1.3 - Falha nos rolamento	5.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	3	5	5	75
					5.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	5	75
				5.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	5.1.4.1 - Sobrecarga operacional	2	3	8	48
					5.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					5.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	3	3	5	45
				5.1.5 - Falha de montagem	5.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	2	8	8	128
			5.2 - Acoplamento de alta	5.2.1 - Falha de lubrificação	5.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	2	5	5	50
					5.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	8	72
					5.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					5.2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	8	200
				5.2.2 - Folga no parafuso central	5.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central	3	5	5	75
				5.2.3 - Quebra do rolamento	5.2.3.1 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	8	120
			5.3 - Motor elétrico de acionamento	5.3.1 - Falha de sobreaquecimento	5.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	2	5	3	30
					5.3.1.2 - Rolamento com defeito	3	3	8	72
					5.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	3	3	5	45
					5.3.1.4. Sobrecarga operacional	2	5	8	80
				5.3.1 - Falha no eixo	5.3.2.1 - Falha no rolamento	3	3	8	72
					5.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					5.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	3	8	8	192
					5.3.2.3 - Divergência no ajuste de montagem com o acoplamento	3	8	8	192
				1.3.4 - Elevado nível de vibração	5.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	3	5	5	75
					5.3.2.2 - Folga nos mancais	3	3	5	45
				1.3.5 - Defeito na partida do motor	5.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	2	2	5	20
					5.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	3	5	8	120

FMEA			Planilha FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
			RESPONSÁVEL: Suené Dias						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
	Sistema de Translação	mover o equipamento em operação a uma velocidade 15 m/min e mover o equipamento para posicionamento a uma velocidade de 30 m/min	5.4 - Truck de translação - motriz/movido	5.4.1 - Falha do mancal	5.4.1.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	3	3	5	45
					5.4.1.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	3	5	5	75
					5.4.1.3 - Folga ou quebra dos rolamentos	3	3	8	72
					5.4.1.4 - Quebra/folga dos parafusos de fixação dos mancais	3	5	5	75
				5.4.2 - Falha da roda	5.4.2.1 - Desgaste /deformação na pista da roda	3	8	8	192
					5.4.2.2 - Abertura excessiva de abas das rodas	3	5	8	120
				5.4.3 - Trinca na parte interna/externa da estrutura do truck	5.4.3.1 - Sobrecarga	3	5	5	75
					5.4.3.2 - Desalinhamento/desnivelamento dos trilhos	3	8	5	120
				5.4.4 - Falha no eixo	5.4.4.1 - Trincas devido desalinhamento/desnivelamento dos trilhos	3	3	5	45
					5.4.4.2 - Fadiga	5	2	8	80
			5.5 - Balancin de Translação	5.5.1 - Trincas na estrutura	5.5.1.1 - Sobrecarga	5	5	5	125
					5.5.1.2 - Desalinhamento/desnivelamento dos trilhos	3	8	5	120
				5.5.2 - Falha na fixação - deslocamento dos pinos	5.5.2.1 - Desalinhamento/desnivelamento dos trilhos	3	8	5	120
					5.5.3.1 - Desgaste / deformação na pista da roda	3	5	5	75
				5.5.3 - Falha da roda	5.5.3.2 - Quebra da roda por falha no processo de fabricação	8	2	8	128
			5.6 - Trilho de translação	5.6.1 - Falha no trilho	5.6.1.1 - Deformação/desgaste	2	8	8	128
					5.6.1.2 - Abertura e/ou desnível entre os segmentos	2	8	8	128

FMEA			Planilha FMEA - Analise dos Modos de Falha e seus Efeitos						
PROCESSO - MANUTENÇÃO			DATA DA EMISSÃO:						
ITEM: 001			ÚLTIMA REVISÃO: 00						
Circuito Expedição - Usina 01 Equipamento: ER-151K-01			Descrição: Capacidade de projeto empilhamento: 13000 t/h; Capacidade nominal empilhamento 11000 t/h; Capacidade de projeto recuperação: 8000 t/h; Velocidade de translação 15m/min (operação); velocidade da translação 30m/min (posicionamento); velocidade de elevação da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 4m/min; velocidade de giro da lança: 0-35m/min; velocidade do transportador da lança: 4m/seg;						
ITEM	SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	ANÁLISE DA FALHA		ÍNDICES			
				MODO DE FALHA	CAUSAS	D	O	S	RPN
6	Enrolador de cabos	Enrolar e desenrolar cabos elétricos flexíveis automaticamente	6.1 - Redutor de acionamento	6.1.1 - Falha de lubrificação	6.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	2	3	3	18
					6.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	3	2	5	30
					6.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	3	3	5	45
					6.1.1.4 -Uso de lubrificante não especificado	5	2	3	30
					6.1.1.5 -Elevação de temperatura do lubrificante	5	5	5	125
					6.1.1.6 -Contaminação do lubrificante	3	8	5	120
				6.1.2 - Desgaste das engrenagens	6.1.2.1 - Falha de lubrificação	3	3	5	45
					6.1.2.2 - Folga nos rolamentos	3	2	5	30
				6.1.3 - Falha nos rolamento	6.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	3	5	5	75
					6.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	5	75
				6.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	6.1.4.1 - Sobre carga operacional	6	3	8	144
					6.1.4.2 -Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					6.1.4.3 -Folga na fixação do redutor	3	3	5	45
				6.1.5 - Falha de montagem	6.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	2	8	8	128
			6.2 - Motor elétrico de acionamento	6.2.1 - Falha de sobreaquecimento	6.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	2	5	3	30
					6.3.1.2 - Rolamento com defeito	3	3	8	72
					6.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	3	3	5	45
					6.3.1.4. Sobre carga operacional	2	5	8	80
				6.2.2 - Falha no eixo	6.3.2.1 - Falha no rolamento	3	3	8	72
					6.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	3	5	8	120
					6.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	3	8	8	192
					6.3.2.3 - Divergencia no ajuste de montagem com o acoplamento	3	8	8	192
				6.2.3 - Elevado nível de vibração	6.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	3	5	5	75
					6.3.2.2 - Folga nos mancais	3	3	5	45
				6.2.4 - Defeito na partida do motor	6.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	2	2	5	20
					6.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	3	5	8	120
			6.3 - Sino Pendular e Guia móvel	6.3.1 - Pêndulo preso	6.3.1.1 - Avarias na articulação (mancais desalinhados, travados)	5	2	8	80
				6.3.2 - Atuação irregular dos sensores	6.3.2.1 - Sensor com defeito	3	3	5	45
				6.3.3 - Avaria do rolamento	6.3.3.1 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	3	5	8	120
			6.4 - Freio a Disco	6.4.1 - Freio não atua	6.4.1.1 - Falta de tensão CC	2	3	5	30
					6.4.1.2 - Disjuntor aberto por defeito	2	5	3	30
				6.4.2 - Freio atua mas não freia	6.4.2.1 - Torque fora de especificação	3	3	5	45
					6.4.2.2 - Lona gasta	3	3	5	45
					6.4.2.3 - Perda de pressão das molas	3	3	8	72
			6.5 - Sistema de transmissão	6.5.1 - Falha da corrente	6.5.1.1 - Desalinhamento/afrouxamento da corrente	3	5	8	120
					6.5.1.2 - Desgaste por abrasão (contaminação material fugitivo)	3	5	5	75
				6.5.2 - Desgaste anormal dos dentes da engrenagem	6.5.2.1 - Corrente desalinhada	3	3	5	75
				6.5.3 - Desajuste da chaveta	6.5.3.1 - Trincas nas arestas dos canais	5	2	3	30

APÊNDICE B: Plano de ações

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
ITEM	Modo de Falha	Causa	Ação	Setor	RPN
1	1.1.1 - Falha de lubrificação	1.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	Inspeção do nível de óleo lubrificante.	Inspeção	30
		1.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	Avaliar a presença de ruídos anormais, e a pressão de saída.	Inspeção	45
		1.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	45
		1.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	Realizar padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		1.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeccionar a temperatura de trabalho do redutor e condições de limpeza.	Inspeção	125
		1.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	Análise do óleo lubrificante.	Preventiva	120
	1.1.2 - Desgaste das engrenagens	1.1.2.1 - Falha de lubrificação	Item 1.1.1	Preventiva/Inspeção	45
		1.1.2.2 - Folga nos rolamentos	Análise de vibrações	Preventiva	30
	1.1.3 - Falha nos rolamento	1.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	Realizar alinhamento na troca do redutor	Preventiva	75
			Análise de vibrações	Preventiva	75
		1.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Análise de vibrações	Preventiva	75
	1.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	1.1.4.1 - Sobrecarga operacional	Intertravamento da operação com a corrente do motor de acionamento	Automação	48
		1.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou eixo	Preventiva	120
		1.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	Observar folgas/vibração nos elementos de fixação do redutor	Inspeção	45
	1.1.5 - Falha de montagem	1.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	Realizar Montagem de acordo com as especificações técnicas	Operação	128
			Preventiva: Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou acoplamento	Preventiva	128
	1.2.1 - Falha de lubrificação	1.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	Inspeção do nível de óleo lubrificante.	Inspeção	50
		1.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	72
		1.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	Padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		1.2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeção da temperatura de trabalho do acoplamento e presença de vazamento.	Inspeção	200
	1.2.2 - Folga no parafuso central	1.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central	Especificar nos planos de troca/montagem do acoplamento a folga permitida entre o eixo e a bucha e o aperto necessário do parafuso central e necessidade de trava química ou mecânica	Preventiva	75
			Realizar análise de vibrações	Preditiva	75
	1.2.3 - Quebra do rolamento	1.2.3.1 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Realizar análise de vibrações	Preditiva	120
	1.3.1 - Falha de sobreaquecimento	1.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	Realizar limpeza das entradas e saídas de ar da defletora da carcaça e inspecionar a condição do ventilador.	Preventiva	30
		1.3.1.2 - Rolamento com defeito	Inspeção da temperatura de trabalho do motor.	Preditiva	72
		1.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	Avaliar a presença de ruído e sistema de proteção (relé de proteção)	Inspeção	45
		1.3.1.4. Sobrecarga operacional	Ajustar os relés de proteção na nominal do motor ou na ausência de proteção, instalar a mesma.	Operacional	120

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
1	1.3.2 - Falha no eixo	1.3.2.1 - Falha no rolamento	Realizar lubrificação do rolamento	Preventiva	72
		1.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Realizar alinhamento durante montagem do conjunto	Preventiva	120
		1.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	Não aplicar esforço axial no eixo durante a montagem	Preventiva	192
		1.3.2.3 - Divergencia no ajuste de	Verificar desgastes dos elementos de fixação.	Preventiva	192
	1.3.4 - Elevado nível de vibração	1.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	Análise de vibrações	Preditiva	75
			Realizar alinhamento durante montagem do conjunto	Preventiva	75
		1.3.2.2 - Folga nos mancais	Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	45
	1.3.5 - Defeito na partida do motor	1.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	Inspeccionar condições da alimentação	Inspeção	20
		1.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	Aplicar o torque e tensão conforme especificado do motor	Preventiva	120
	1.4.1 - Falha no eixo	1.4.1.1 - Quebra ou deformação do eixo devido à cargas de impacto e sobrecargas.	Intertravamento da operação roda com a corrente do motor de acionamento.	Automação	120
			Eliminar arriamento de pilha sobre as caçambas. (Trena a laser)	Operação	120
		1.4.1.2 - Sobrecarga devido ao aumento de massa na roda	Aplicar componentes conforme especificação do projeto	Planejamento	96
		1.4.1.3 - Desgaste do eixo por abrasão do minério	Inspeccionar pontos de fuga de material e dimensional do eixo.	Inspeção	72
		1.4.1.4 - Fadiga/fratura do eixo, buchas e prisioneiros dos segmentos do eixo	Inspeção de recebimento do componente para garantir o atendimento das especificações de material e tratamento térmico.	Planejamento	120
		1.4.1.5 - Folga no alojamento dos rolamentos	Inspeção de recebimento do componente para garantir as tolerâncias especificadas.	Planejamento	75
		1.4.1.6 - Falha na fixação do eixo na roda	Aplicar o torque e elementos de fixação conforme especificado.	Preventiva	120
		1.4.1.7 - Falha na fixação do eixo no redutor	Aplicar o torque e elementos de fixação conforme especificado.	Preventiva	120
	1.4.2 - Falha nos mancais do eixo	1.4.2.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	MP de lubrificação dos rolamentos	Preventiva	72
		1.4.2.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	Inspeção dos labirintos dos mancais	Inspeção	50
		1.4.2.3 - Folga ou quebra dos rolamentos	Análise de vibrações	Preditiva	48
		1.4.2.4 - Folga na fixação dos mancais	Inspeccionar folga nas fixações dos mancais	Inspeção	75
	1.4.3 - Falha na roda	1.4.3.1 - Desgaste da estrutura por desgaste do revestimento	Efetuar medição de desgaste do revestimento	Inspeção	72
			inspeccionar pontos de fuga de material.	Inspeção	48
		1.4.3.2 - Desgaste da estrutura por falta de revestimento	Inspeccionar queda de revestimento.	Inspeção	48
			Efetuar medição de desgaste da estrutura	Inspeção	48
		1.4.3.3 - Deformação da estrutura da roda	Inspeção de presença de deformações	Inspeção	200
	1.4.4 - Falha nas caçambas	1.4.4.1 - Falha na fixação das caçambas	Inspeccionar a ausência de elementos de fixação e desgaste ou folga no sistema.	Inspeção	120
			Torquear adequadamente os elementos de fixação e travar as cunhas	Preventiva	120
		1.4.4.2 - Desgaste na estrutura por desgaste do revestimento	Efetuar medição de desgaste do revestimento	Inspeção	120
		1.4.4.3 - Falha na fixação dos dentes das caçambas	Verificar aperto dos elementos de fixação.	Preventiva	72
		1.4.4.4 - Quebra dos dentes das caçambas	Inspeccionar a ausência de elementos de fixação	Operação	80
		1.4.4.5 - Desgaste no revestimento dos dentes	Inspeccionar o desgaste dos elementos	Inspeção	120
	1.4.5 - Falha no Chute	1.4.5.1 - Falha de fixação de revestimento e da estrutura do chute.	Inspeccionar elementos de fixação.	Inspeção	120
		1.4.5.2 - Falha na detecção de desgaste do revestimento	Medir periodicamente o desgaste das chapas	Inspeção	75

2	2.1.1 - Falha de lubrificação	2.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	Inspeção do nível de óleo lubrificante.	Inspeção	30
		2.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	Avaliar a presença de ruídos anormais, e a pressão de saída.	Inspeção	45
		2.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	45
		2.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	Padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		2.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeção da temperatura de trabalho do redutor e condições de limpeza.	Inspeção	125
		2.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	Análise do óleo lubrificante.	Preditiva	120
	2.1.2 - Desgaste nas engrenagens	2.1.2.1 - Falha de lubrificação	Idem item 2.1.1		45
		2.1.2.2 - Folga nos rolamentos	Realizar análise de vibrações	Preditiva	30
	2.1.3 - Falha nos rolamento	2.1.3.3 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	Realizar alinhamento na troca do redutor	Preventiva	75
			Realizar Análise de vibrações	Preditiva	75
		2.1.3.4 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Realizar Análise de vibrações	Preditiva	75
	2.1.4 - Quebra dos eixos de entrada e saída	2.1.4.1 - Sobrecarga operacional	Realizar intertravamento da operação com a corrente do motor de acionamento	Automação	48
		2.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou eixo	Preventiva	120
		2.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	Observar folgas/vibração nos elementos de fixação do redutor	Inspeção	45
	2.1.5 - Falha de montagem	2.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	Realizar Montagem de acordo com as especificações técnicas	Operação	128
			Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou acoplamento	Preventiva	128
	2.2.1 - Falha de lubrificação	2.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	Inspeccionar nível de óleo lubrificante.	Inspeção	50
		2.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	72
		2.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	Padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		2.2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeção da temperatura de trabalho do acoplamento e presença de vazamento.	Inspeção	200
	2.2.2 - Folga no parafuso central	2.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central	Especificar nos planos de troca/montagem do acoplamento a folga permitida entre o eixo e a bucha e o aperto necessário do parafuso central e necessidade de trava química ou mecânica	Preventiva	75
			Realizar análise de vibrações	Preditiva	75
	2.2.3 - Falha no rolamento	2.2.3.2 - Desgaste/Folga no rolamento - falha de lubrificação	Realizar análise de vibrações	Preditiva	120
	2.3.1 - Falha de sobreaquecimento	2.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	Realizar limpeza das entradas e saídas de ar da defletora da carcaça e inspecionar a condição do ventilador.	Preventiva	30
		2.3.1.2 - Rolamento com defeito	Inspeção da temperatura de trabalho do motor.	Preditiva	72
		2.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	Avaliar a presença de ruído e sistema de proteção (relé de proteção)	Inspeção	45
		2.3.1.4. Sobrecarga operacional	Ajustar os relés de proteção na nominal do motor ou na ausência de proteção, instalar a mesma.	Operacional	80
	2.3.2 - Falha no eixo	2.3.2.1 - Falha no rolamento	Realizar lubrificação do rolamento	Preventiva	72
		2.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Realizar alinhamento durante montagem do conjunto	Preventiva	120
		1.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	Não aplicar esforço axial no eixo durante a montagem	Preventiva	192
		1.3.2.3 - Divergencia no ajuste de montagem com o acoplamento	Verificar desgastes dos elementos de fixação.	Preventiva	192
	2.3.3 - Elevado nível de vibração	1.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	Análise de vibrações	Preditiva	75
			Realizar alinhamento durante montagem do conjunto	Preventiva	75
		1.3.2.2 - Folga nos mancais	Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	45
	2.3.4 - Defeito na partida do motor	1.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	Inspeccionar condições da alimentação	Inspeção	20
		1.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	Aplicar o torque e tensão conforme especificado do motor	Preventiva	120

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
2	2.4.1 - Falha na cremalheira/pinhão de giro	2.4.1.1 - Desgaste no alojamento do pino da mesa de giro e/ou folga nos elementos de fixação do pino	Avaliar folga entre pino e alojamento e a fixação dos pinos na cremalheira	Inspeção	120
		2.4.1.2 - Pinos de giro com desgaste acentuado e fora do padrão com superfície irregular	Acompanhar a evolução do desgaste	Inspeção	120
		2.4.1.3 - Pinhão com desgaste acentuado e fora do padrão irregular	Acompanhar a evolução do desgaste	Inspeção	120
	2.4.2 - Quebra dos parafusos de fixação do colar da mesa de giro	2.4.2.1 - Sobrecarga devido impacto lateral da lança	Instalar sensor e logica para evitar choque lateral contra a pilha e reduzir velocidade de entrada na pilha	Automação	120
	2.4.3 - Falha no trilho de giro	2.4.3.1 - Deformação/desgaste	Plano de inspeção e manutenção dos limpa trilho	Operação	125
			Realizar inspeção de recebimento dos trilhos conferindo o material, dureza e dimensional	Planejamento	125
			Realizar inspeção dimensional do perfil do trilho	Inspeção	125
		2.4.3.2 - Abertura e/ou desnível entre os segmentos	Realizar topografia nos trilhos para avaliar a concentricidade e indentificar desviveis	Operação	72
			Avaliar fixação dos segmentos dos trilhos e os níveis de desgaste	Inspeção	72
	2.5.1 - Falha do mancal	2.5.1.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	Realizar MP de lubrificação dos rolamentos	Preventiva	48
		2.5.1.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	Detalhar a MP de montagem dos mancais e sistema de vedação (gaxetas).	Preventiva	80
			Detalhar MP de lubrificação	Preventiva	80
			Inspecionar vedação das tampas laterais	Inspeção	80
			Descontaminar periodicamente os rolamentos	Preventiva	80
		2.5.1.2 - Folga ou quebra dos rolamentos	Medir folga nos rolamentos	Preventiva	48
		2.5.1.3 - Folga na fixação dos mancais e tampa lateral	Inspecionar folga nas fixações dos mancais e tampas	Inspeção	75
			Aplicar o torque conforme especificado	Preventiva	75
	2.5.2 - Falha no eixo	2.5.2.1 - Sobrecarga operacional	Inspeção de recebimento do componente para garantir as tolerâncias especificadas.	Planejamento	120
		2.5.2.2 - Folga na fixação do redutor	Observar folgas/vibração nos elementos de fixação do redutor	Inspeção	75
	2.5.3 - Trinca na parte interna/externa da estrutura do truck	2.5.3.1 - Sobrecarga operacional	Inspeção da condição estrutural do truck de giro	Inspeção	75
		2.5.3.2 - Desalinhamento/desnívelamento dos trilhos	Realizar inspeção dimensional do perfil do trilho	Inspeção	120
	2.5.4 - Falha da roda	2.5.4.1 - Desgaste /deformação na pista da roda	Realizar e acompanhamento do desgaste das rodas de translação de giro	Preventiva	80
			Realizar inspeção de recebimento das rodas conferindo o material, dureza e dimensional	Planejamento	80
			Realizar inspeção dimensional da roda	Inspeção	80
	2.6.1.- Falha da roda	2.6.1.1 - Desgaste / deformação na pista da roda	Realizar medidas de deformação da pista e do diametro da roda	Inspeção	80
		2.6.1.2 - Quebra da roda por falha no processo de fabricação	Exigir di fabricante certificado de qualidade do material da roda e do tratamento aplicado, bem como o relatório de inspeção dimensional	Planejamento	128
	2.6.2 - Avaria na estrutura do balancim	2.6.2.1 - Desalinhamento/desnívelamento dos trilhos	Realizar inspeção dimensional do perfil do trilho	Inspeção	120
		2.6.2.2 - Desgaste nos pinos de articulação	Inspecionar condição/deformação dos pinos	Inspeção	125

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
ITEM	Modo de Falha	Causa	Ação	Setor	RPN
3	3.1.2 - Desgaste das engrenagens	3.1.2.1 - Falha de lubrificação	Item 3.1.1		45
		3.1.2.2 - Folga nos rolamentos	Análise de vibrações	Preditiva	30
	3.1.3 - Falha nos rolamento	3.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	Realizar alinhamento na troca do redutor	Preventiva	75
			Realizar análise de vibrações	Preditiva	75
		3.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Realizar análise de vibrações	Preditiva	75
	3.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	3.1.4.1 - Sobrecarga operacional	Realizar intertravamento da operação com a corrente do motor de acionamento	Automação	48
		3.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou eixo	preventiva	120
		3.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	Observar folgas/vibração nos elementos de fixação do redutor	Inspeção	45
	3.1.5 - Falha de montagem	3.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	Realizar Montagem de acordo com as especificações técnicas	Operação	128
			Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou acoplamento	Preventiva	128
	3.2.1 - Falha de lubrificação	3.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	Inspeccionar nível de óleo lubrificante.	Inspeção	50
		3.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	72
		3.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	Padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeção da temperatura de trabalho do redutor presença de vazamento.	Inspeção	200
	3.2.2 - Folga no parafuso central	3.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central	Conferir dimensional das buchas, eixos e chavetas antes da montagem e aplicar torque adequado no parafuso	Preventiva	75
	3.2.3 - Falha no rolamento	3.2.3.2 - Desgaste/Folga no rolamento - falha de lubrificação	Realizar análise de vibrações	Preditiva	120
	3.3.1 - Falha de superaquecimento	3.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou	Realizar limpeza das entradas e saídas de ar da defletora	Preventiva	30
		3.3.1.2 - Rolamento com defeito	Inspeção da temperatura de trabalho do motor.	Preditiva	72
		3.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos	Avaliar a presença de ruído e sistema de proteção (relé de	Inspeção	45
		3.3.1.4. Sobrecarga operacional	Ajustar os relés de proteção na nominal do motor ou na ausência de proteção, instalar a mesma.		80
	1.3.2 - Falha no eixo	3.3.2.1 - Falha no rolamento	Realizar lubrificação do rolamento	Preventiva	72
		3.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Realizar alinhamento durante montagem do conjunto	Preventiva	120
		1.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	Não aplicar esforço axial no eixo durante a montagem	Preventiva	192
		3.3.2.3 - Divergência no ajuste de montagem com o acoplamento	Verificar desgastes dos elementos de fixação.	Preventiva	192
	1.3.4 - Elevado nível de vibração	3.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	Análise de vibrações	Preditiva	75
			Realizar alinhamento durante montagem do conjunto	Preventiva	75
		3.3.2.2 - Folga nos mancais	Inspeção: Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	45
	1.3.5 - Defeito na partida do motor	3.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	Inspeccionar condições da alimentação	Inspeção	20
		3.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	Aplicar o torque e tensão conforme especificado do motor	Preventiva	120
	3.5.1 - Vazamento interno	3.5.1.1 - Falha na haste do cilindro danificada e junções da parte da fixação	Verificar desgaste da haste e junções do cilindro	Preventiva	128
	3.5.2 - Acumulo de contaminantes no óleo	3.5.1.2 - Proteção da haste danificada	Realizar análise do óleo lubrificante.	Preditiva	120

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
4	4.1.1 - Desalinhamento da correia	4.1.1.1 - Queda de material descentralizado.	Avaliar a projeção de material sobre a correia após as manutenções nos chutes	Preventiva	120
		4.1.1.2 - Falha de tensionamento	Avaliar utilização do contrapeso indicado no projeto.	Inspeção	45
		4.1.1.3 - Acumulo de material na lança	Manter a lança isenta de material	Operação	80
		4.1.1.4 - Defeito de emenda da correia	Executar a emenda de acordo com o procedimento	Vulcanização	120
			Após liberação da vulcanização avaliar a ocorrência de desalinhamento da corrente.	Operação	120
		4.1.1.4 - Desnívelamento e desalinhamento de cavaletes, estruturas e tambores	Verificar nivelamento na troca de cavaletes, estruturas e tambor	Preventiva	125
	4.1.2 - Desgaste correia	4.1.2.1 - Desalinhamento do tambor	Realizar alinhamento na troca do redutor, motor, eixo ou tambor	Preventiva	30
		4.1.2.2 - Falha no revestimento do tambor - atrito entre correia e tambor	Medir periodicamente o desgaste dos revestimentos	Inspeção	45
		4.1.2.3 - Rolo desalinhado/quebrado	Realizar inspeção de rolos	Inspeção	128
	4.1.3 - Rasgo de Correia/ Rasgo de borda.	4.1.3.1 - Desgaste da correia	Realizar acompanhamento de desgaste da correia	Inspeção	120
		4.1.3.2 - Desalinhamento da correia	Item: 4.1.1		120
		4.1.3.3 - Contato da correia com a estrutura do transportador	Inspeccionar cavalete alto alinhante e rolos protetores de estrutura.	Inspeção	45
	4.1.4 -Defeito emenda / abertura emenda	4.1.4.1 - Falha na execução da emenda (fora de esquadro).	Executar a emenda de acordo com o procedimento	Vulcanização	72
		4.1.4.2 - Falha no processo de vulcanização.	Executar inspeção da emenda após processo da vulcanização	Vulcanização	120
		4.1.4.3 - Desalinhamento de correia	Item: 4.1.1		120
	4.2.1 - Desgate do rolo	4.2.1.1 - Operação em condição extrema - acumulo de material fugitivo proximo ao rolo	Realizar inspeção operacional do equipamento		128
			Realizar inspeção de rolos	Operação	128
		4.2.1.2 - Desprendimento da borracha - má qualidade, processo de vulcanização inadequado - Rolo de retorno e carga	Criar planos de inspeção de rolos.	Inspeção	320
		4.2.1.3 - Aplicação inadequada do rolo	Aplicar rolo de acordo com o especificado	Engenharia Planejamento	120
	4.2.2 - Quebra	4.2.2.1 - Desgaste do rolo	Realizar inspeção de rolos	Inspeção	50
		4.2.2.2 - Travamento do rolamento	Realizar inspeção de rolos	Inspeção	80
		4.2.2.3 - Rolo subdimensionado	Aplicar rolo de acordo com o especificado	Planejamento	80
		4.2.2.4 - Desalinhamento da correia (rolo	Realizar inspeção de rolos	Inspeção	75
		4.2.2.5 - Procediemento inadequada de fixação do rolo no cavalete (solda de metal	Cumprir o procediemento de troca de rolo	Preventiva	120
		4.2.2.6 - Utilização de cavalete inadequado	Inspeccionar fixação do rolo no cavalete	Inspeção	120
	4.2.3 - Travamento	4.2.3.1 - Acumulo de material. 4.2.3.2 - Procediemento inadequada de fixação do rolo no cavalete (solda de metal na ponta do eixo/utilização de ferramenta de impacto na ponta do eixo	Inspeccionar se os cavaletes estão de acordo com o projeto.	Inspeção	80
			Criar mapeamento das posições onde há maior frequência de troca de rolos para descontaminação	Preventiva	48
			Cumprir o procediemento de troca de rolo	Preventiva	120
	4.3.1 - Quebra do cavalete	4.2.4.1 - Falha nas fixações do cavalete	Realizar inspeção do cavalete após troca	Inspeção	120
		4.1.4.2 - Esforços provocados pela tensão de tração da correia	Verificar tensionamento da correia	Preventiva	75
		4.1.4.3 -Deposição de material - não realização de descontaminação	Criar mapeamento das posições onde há maior frequência de troca de cavalete para descontaminação	Inspeção	30
	4.4.1 - Falha do mancal	4.4.1.1 - Sobreaquecimento dos mancais.	Criar mapeamento das posições onde há maior frequência de troca de cavalete para descontaminação	Preventiva	120
		4.4.1.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	Realizar MP de lubrificação dos rolamentos	Preventiva	45
		4.4.1.2 - Folga ou quebra dos rolamentos	Inspeção dos labirintos dos mancais	Preventiva	75
		4.4.1.2 - Folga ou quebra dos rolamentos	Análise de vibrações	Inspeção	48
	4.4.2 - Quebra do eixo	4.4.1.3 - Folga na fixação dos mancais	Inspeccionar folga nas fixações dos mancais	Inspeção	45
		4.4.2.1 - Fadiga	Verificar folgas no rolamento	Inspeção	96
		4.4.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo do tambor	Realizar alinhamento durante montagem do conjunto	Preventiva	120
	4.4.3 - Falha no revestimento	4.4.2.3 - Folga na fixação do redutor	Observar folgas/vibração nos elementos de fixação do redutor	Inspeção	30
		4.4.3.1 - Falha de fixação de revestimento	Inspeccionar elementos de fixação.	Inspeção	72
	4.5.1 - Falha no Chute	4.4.3.2 - Falha na detecção de desgaste do revestimento	Medir periodicamente o desgaste dos revestimentos	Inspeção	30
		4.5.1.1 - Falha de fixação de revestimento e da estrutura do chute.	Inspeccionar elementos de fixação.	Inspeção	120
		4.5.1.2 - Falha na detecção de desgaste do revestimento	Medir periodicamente o desgaste das chapas	Inspeção	75
		4.5.1.3 - Entupimento do chute devido alteração de projeto	Aplicar componentes conforme especificação do projeto	Inspeção	120
	4.6.1 - Falha do sistema de esticamento	4.5.1.4 - Falta de limpeza	Realizar limpeza do chute	Planejamento	75
		4.6.1.1 - Cabo contrapeso danificado - desprendido	Verificar condição de fixação cabo de aço	Preventiva	80
		4.6.1.2- Quebra do cabo de esticamento do sistema tensor do contrapeso	Verificar condição do cabo de aço	Preventiva	80
		4.6.1.3 - Estrutura do contrapeso desalinhado	Checar integridade do contra peso	Preventiva	27
		4.6.1.4 - Desgaste acentuado no olhal de posicionamento do pino de fixação da roldana	Obeservar condições das fixações da roldana do sistema de esticamento	Inspeção	20

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
5	5.1.1 - Falha de lubrificação	5.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	Inspeção do nível de óleo lubrificante.	Inspeção	30
		5.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	Avaliar a presença de ruídos anormais, e a pressão de saída.	Inspeção	45
		5.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	45
		5.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	Padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		5.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeção da temperatura de trabalho do redutor e condições de limpeza.	Inspeção	125
		5.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	Análise do óleo lubrificante.	Preditiva	120
	5.1.2 - Desgaste das engrenagens	5.1.2.1 - Falha de lubrificação	Item 1.1.1		45
		5.1.2.2 - Folga nos rolamentos	realizar análise de vibrações	Preditiva	30
	5.1.3 - Falha nos rolamento	5.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	Realizar alinhamento na troca do redutor	Preventiva	75
			Realizar análise de vibrações	Preditiva	75
		5.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Realizar análise de vibrações	Preditiva	75
	5.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	5.1.4.1 - Sobrecarga operacional	Intertravamento da operação com a corrente do motor de acionamento	Automação	48
		5.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou eixo	Preventiva	120
		5.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	Observar folgas/vibração nos elementos de fixação do redutor	Inspeção	45
	5.1.5 - Falha de montagem	5.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	Realizar Montagem de acordo com as especificações técnicas		128
			Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou acoplamento	Preventiva	128
	5.2.1 - Falha de lubrificação	5.2.1.1 - Vazamento em sistemas de vedação	Inspeção do nível de óleo lubrificante.	Inspeção	50
		5.2.1.2 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	72
		5.2.1.3 - Uso de lubrificante não especificado	Padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		5.2.1.4 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeção da temperatura de trabalho do acoplamento e presença de vazamento.	Inspeção	200
	5.2.2 - Folga no parafuso central	5.2.2.1 - Desgaste das buchas, eixos, chavetas, deslocamento axial do eixo, falta de aperto do parafuso central	Especificar nos planos de troca/montagem do acoplamento a folga permitida entre o eixo e a bucha e o aperto necessário do parafuso central e necessidade de trava química ou	Preventiva	75
			Análise de vibrações	Preditiva	75
	5.2.3 - Quebra do rolamento	5.2.3.1 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Análise de vibrações	Preditiva	120
	5.3.1 - Falha de sobreaquecimento	5.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou obstruída	Realizar limpeza das entradas e saídas de ar da defletora da carcaça e inspecionar a condição do ventilador.	Preventiva	30
		5.3.1.2 - Rolamento com defeito	Inspeção da temperatura de trabalho do motor.	Inspeção	72
		5.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos terminais de alimentação do motor	Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	45
		5.3.1.4. Sobrecarga operacional	verificar se há fusíveis queimados, comandos errados, falta de fase ou nos cabos de alimentação	Inspeção	80
	5.3.1 - Falha no eixo	5.3.2.1 - Falha no rolamento	Verificar a tensão de alimentação do motor - não ultrapassar a tolerância especificada	Operação	72
		5.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor/ eixo da roda	Verificar desgastes dos elementos de fixação.	Preventiva	120
		5.3.2.1 - Falha na montagem do acoplamento	Realizar análise de vibrações	Preditiva	192
		5.3.2.3 - Divergência no ajuste de montagem com o acoplamento	Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	192
	1.3.4 - Elevado nível de vibração	5.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	Inspeccionar condições da alimentação	Inspeção	75
			Aplicar o torque e tensão conforme especificado do motor	Preventiva	75
		5.3.2.2 - Folga nos mancais	Realizar análise de vibração	Preditiva	45
	1.3.5 - Defeito na partida do motor	5.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação do motor	Inspeccionar condições da alimentação	Inspeção	20
		5.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	Aplicar o torque e tensão conforme especificado do motor	Preventiva	120

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
5	5.4.1 - Falha do mancal	5.4.1.1- Sobreaquecimento dos mancais.	Realizar MP de lubrificação dos rolamentos	Preventiva	45
		5.4.1.2 - Desgaste dos rolamentos por contaminação	Inspeção dos labirintos dos mancais	Inspeção	75
		5.4.1.3 - Folga ou quebra dos rolamentos	realizar análise de vibrações	Preditiva	72
		5.4.1.4 - Quebra/folga dos parafusos de fixação dos mancais	Inspeccionar folga nas fixações dos mancais	Inspeção	75
	5.4.2 - Falha da roda	5.4.2.1 - Desgaste /deformação na pista da roda	Realizar e acompanhamento do desgaste deformações das rodas de translação	Preventiva	192
			Realizar inspeção de recebimento das rodas conferindo o material, dureza e dimensional	Planejamento	192
		5.4.2.2 - Abertura excessiva de abas das rodas	Realizar inspeção dimensional da roda	Inspeção	120
	5.4.3 - Trinca na parte interna/externa da estrutura do truck	5.4.3.1 - Sobrecarga	Realizar inspeção dimensional do perfil do trilho	Inspeção	75
		5.4.3.2 - Desalinhamento/desnívelamento dos trilhos	Avaliar fixação dos segmentos dos trilhos e os níveis de desgaste	Inspeção	120
	5.4.4 - Falha no eixo	5.4.4.1 - Trincas devido desalinhamento/desnívelamento dos trilhos	Realizar inspeção dimensional do perfil do trilho	Inspeção	45
		5.4.4.2 - Fadiga	Verificar folgas no rolamento	Preditiva	80
	5.5.1 - Trincas na estrutura	5.5.1.1 - Sobrecarga	Realizar inspeção dimensional do perfil do trilho	Inspeção	125
		5.5.1.2 - Desalinhamento/desnívelamento dos trilhos	Avaliar fixação dos segmentos dos trilhos e os níveis de desgaste	Inspeção	120
	5.5.2 - Falha na fixação - deslocamento dos pinos	5.5.2.1 - Desalinhamento/desnívelamento dos trilhos	Realizar inspeção das condições das fixações doo balacin	Inspeção	120
	5.5.3 - Falha da roda	5.5.3.1 - Desgaste / deformação na pista da roda	Realizar medidas de deformação da pista e do diametro da roda	Inspeção	75
		5.5.3.2 - Quebra da roda por falha no processo de fabricação	Exigir di fabricante certificado de qualidade do material da roda e do tratamento aplicado, bem como o relatório de inspeção dimensional	Planejamento	128
	5.6.1 - Falha no trilho	5.6.1.1 - Deformação/desgaste	Plano de inspeção e manutenção dos limpa trilho	Operação	128
			Realizar inspeção de recebimento dos trilhos conferindo o material, dureza e dimensional	Planejamento	128
			Realizar inspeção dimensional do perfil do trilho	Inspeção	128
		5.6.1.2 - Abertura e/ou desnível entre os segmentos	Realizar topografia nos trilhos para avaliar a concentricidade e indentificar desviveis	Operação	128
			Avaliar fixação dos segmentos dos trilhos e os níveis de desgaste	Inspeção	128

PLANO DE AÇÃO - FMEA ER 151 K-01					
6	6.1.1 - Falha de lubrificação	6.1.1.1 - Vazamento em conexões e sistema de vedação	Inspeção do nível de óleo lubrificante.	Inspeção	18
		6.1.1.2 - Falha na bomba de lubrificação	Avaliar a presença de ruídos anormais, e a pressão de saída.	Inspeção	30
		6.1.1.3 - Abastecimento de lubrificante em quantidade fora do especificado	Padronização do volume de lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	45
		6.1.1.4 - Uso de lubrificante não especificado	Padronização do óleo lubrificante especificado no plano de MP.	Preventiva	30
		6.1.1.5 - Elevação de temperatura do lubrificante	Inspeção da temperatura de trabalho do redutor e condições de limpeza.	Inspeção	125
		6.1.1.6 - Contaminação do lubrificante	Análise do óleo lubrificante.	Preditiva	120
	6.1.2 - Desgaste das engrenagens	6.1.2.1 - Falha de lubrificação	Item 1.1.1		45
		6.1.2.2 - Folga nos rolamentos	Análise de vibrações	Preditiva	30
	6.1.3 - Falha nos rolamento	6.1.3.1 - Desalinhamento do conjunto motor/redutor	Realizar alinhamento na troca do redutor	Preventiva	75
			Análise de vibrações	Preditiva	75
		6.1.3.2 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Análise de vibrações	Preditiva	75
	6.1.4 - Quebra dos eixos de entrada	6.1.4.1 - Sobrecarga operacional	Intertravamento da operação com a corrente do motor de acionamento	Automação	144
		6.1.4.2 - Desalinhamento do conjunto	Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou eixo	Preventiva	120
		6.1.4.3 - Folga na fixação do redutor	Observar folgas/vibração nos elementos de fixação do redutor	Inspeção	45
	6.1.5 - Falha de montagem	6.1.5.1 - Não cumprimento das especificações de montagem	Realizar Montagem de acordo com as especificações técnicas	Operação	128
			Realizar alinhamento na troca do redutor, motor ou acoplamento	Preventiva	128
	6.2.1 - Falha de superaquecimento	6.3.1.1 - Refrigeração insuficiente ou	Realizar limpeza das entradas e saídas de ar da defletora	Preventiva	30
		6.3.1.2 - Rolamento com defeito	Inspeção da temperatura de trabalho do motor.	Inspeção	72
		6.3.1.3 - Desequilíbrio de tensão nos	Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	45
		6.3.1.4. Sobrecarga operacional	verificar se há fusíveis queimados, comandos errados, falta de fase ou nos cabos de alimentação	Operação	80
	6.2.2 - Falha no eixo	6.3.2.1 - Falha no rolamento	Verificar a tensão de alimentação do motor - não ultrapassar a tolerância especificada	Operação	72
		6.3.2.2 - Desalinhamento do conjunto	Verificar desgastes dos elementos de fixação.	Preventiva	120
		6.3.2.1 - Falha na montagem do	Análise de vibrações	Preditiva	192
		6.3.2.3 - Divergência no ajuste de montagem com o acoplamento	Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	192
	6.2.3 - Elevado nível de vibração	6.3.2.1 - Desnívelamento e/ou Desalinhamento do motor	Análise de vibrações	Preditiva	75
		6.3.2.2 - Folga nos mancais	Avaliar a presença de ruído.	Inspeção	45
	6.2.4 - Defeito na partida do motor	6.3.5.1 - Falha na ligação da alimentação	Inspeccionar condições da alimentação	Inspeção	20
		6.3.5.2 - Falha na parametrização do sensor de temperatura interna	Aplicar o torque e tensão conforme especificado do motor	Preventiva	120
	6.3.1 - Pêndulo preso	6.3.1.1 - Avarias na articulação (mancais desalinhados, travados)	Inspeções: Verificar	Inspeção	80
	6.3.3 - Avaria do rolamento	6.3.3.1 - Desgaste/Folga na pista de rolamento - falha de lubrificação	Realizar análise de vibrações	Preditiva	120
	6.4.1 - Freio não atua	6.4.1.1 - Falta de tensão CC	Verificar se há chegada de tensão na entrada do conjunto transformador e retificador	Automação	30
	6.4.2 - Freio atua mas não freia	6.4.2.1 - Torque fora de especificação	Ajustar o torque conforme o especificado do motor	Automação	45
		6.4.2.2 - Lona gasta	Inspeccionar desgaste da lona	Inspeção	45
	6.5.1 - Falha da corrente	6.5.1.1 - Desalinhamento/afrouxamento da	Verificar folgas e realizar alinhamento da corrente	Preventiva	120
		6.5.1.2 - Desgaste por abrasão	Verificar proteções	Preventiva	75
	6.5.2 - Desgaste anormal dos dentes da engrenagem	6.5.2.1 - Corrente desalinhada	Verificar folgas na corrente	Preventiva	75
			Realizar alinhamento de corrente	Preventiva	75
	6.5.3 - Desajuste da chaveta	6.5.3.1 - Trincas nas arestas dos canais	Analisar atentamente dependendo da deformação, recuperar ou substituir a peça avariada.	Inspeção	30