



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
DE SERGIPE – FANESE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

SÉRGIO LUIZ COSTA SANTOS

**MODOS DE FALHAS: Um estudo de caso aplicado em
motores de tração dos caminhões transportadores da mina
de potássio na unidade da VALE - SE**

**Aracaju/SE
2009.1**

SÉRGIO LUIZ COSTA SANTOS

ORIGEM
N.º RO.
DATA
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA
FAMESP

**MODO DE FALHAS: Um estudo de caso aplicado em
motores de tração dos caminhões transportadores da mina
de potássio na unidade da VALE - SE**

Monografia apresentada ao departamento
de Engenharia de Produção da Faculdade
de Administração e Negócio de Sergipe,
como Requisito para obtenção da
Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. MSc. Luiz Adeildo da
Silva Junior

Coordenador: Prof. Dr Jefferson Arlen
Freitas

**Aracaju/SE
2009.1**

FANESE
BIBLIOTECA Dra. CELUTA MARIA MONTEIRO FREITAS
N.º RG. _____ DATA ____/____/____
ORIGEM _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Sérgio Luiz Costa

Modos de falhas: um estudo de caso aplicado em motores de tração dos caminhões transportadores da mina de potássio da unidade da Vale - Se / Sérgio Luiz Costa Santos – 2009.

53f.: il.

Monografia (graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, 2009.

Orientação: Prof. Msc. Luiz Adeildo da Silva Júnior

1. Motor de tração
3. Análise de falha

2. Componentes mecânicos
I. Título

CDU 658.58 (813.7)

SÉRGIO LUIZ COSTA SANTOS

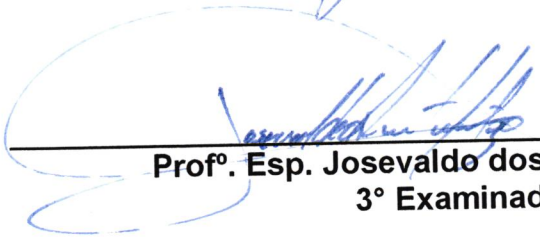
MODO DE FALHAS: Um estudo de caso aplicado em motores de tração dos caminhões transportadores da mina de potássio na unidade da VALE - SE

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe – FANESE, como requisito parcial para cumprimento do Estágio Curricular e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2009.1.

Prof. MSc. Luiz Adeildo da Silva Júnior
1º Examinador (Orientador)



Profº. Dr. Jefferson Arlen Freitas
2º Examinador



Profº. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza
3º Examinador

Aprovado com média: _____

Aracaju, _____ de _____ de 2009.

Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida: minha esposa, Rosilda Maria dos Santos e minha mãe, Izabel Rosa Costa Santos. Aos meus filhos Elania Rosa Santos, Erick Costa Santos e Everton José Costa Santos pela compreensão e incentivo que depositaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pela vida, pela presença nos momentos de felicidade e de provação, pela força e coragem para transpor as dificuldades colocadas durante a escalada para o alcance de um objetivo.

Às pessoas mais importantes da minha vida, a minha esposa Rosilda Maria dos Santos, meus filhos: filha Elania Rosa Santos, filho Erick Costa Santos e filho Everton José Costa Santos, a que tanto amo, que sempre estiveram ao meu lado me incentivando perante as barreiras que apareciam no árduo caminho da formatura, principalmente, nas horas de maior dificuldade.

Aos meus pais, Edmundo Laurindo dos Santos, Izabel Rosa Costa Santos e a minha sogra Maria Ferreira dos Santos que juntos me apoiaram na realização dessa conquista.

Aos meus irmãos: Maria das Graças Santos, Carlos José Costa Santos, Ana Rosa Costa Santos e Marcos César Costa Santos pelo orgulho e incentivo que sempre depositaram em mim.

A todos os meus amigos e familiares que, durante estes cinco anos, estiveram sempre ao meu lado.

À empresa Vale, que contribuiu de forma significativa para elaboração desse trabalho.

Aos colegas da faculdade, que sempre mantiveram a turma de forma homogênea e envolvida.

Ao meu orientador, Prof. MSc. Luiz Adeildo da Silva Júnior, pelo apoio e dedicação dispensados.

Aos professores que contribuíram para meu crescimento intelectual e social durante estes cinco anos de trabalho.

“Onde não há conselhos fracassam os projetos”.
“Mas com muitos conselheiros há bom êxito”.

(Provérbios 15:22)

RESUMO

O tema abordado neste trabalho intitulado **MODO DE FALHAS: Um estudo de caso aplicado em motores de tração dos caminhões transportadores da mina de potássio na unidade da VALE - SE**, foi elaborado seguindo o modelo de gestão de manutenção, a partir do conhecimento e da avaliação das perdas de desempenho de equipamentos e componentes e tem como objetivo a elaboração de uma análise de falhas sobre as quebras de eixos, pinhões e chavetas de motores de tração dos caminhões transportadores de minério (shuttle car), aplicando para cada um dos modos de falha citado, as medidas para solução ou mitigação das mesmas, baseando-se na aplicação de metodologias, técnicas estruturadas e objetivas, a fim de eliminar ou compensar os impactos causados no processo de produção da mina de potássio.

Palavras-chave: Motor de tração. Componentes mecânicos. Análise de falha.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Avanço histórico da manutenção.....	19
Figura 02 – Sistema sem manutenção preventiva.....	22
Figura 03 – Representação da correlação dos tipos de manutenções.....	24
Figura 04 – Árvore de falha de um circuito.....	27
Figura 05 – Fluxograma dos passos para execução da FMEA.....	29
Figura 06 – Posicionamento do motor de tração no caminhão transportador.....	33
Figura 07 – Representação de um pinhão quebrado.....	35
Figura 08 – Pinhão quebrado no eixo do motor de tração.....	35
Figura 09 – Montagem do pinhão e chaveta no motor de tração.....	35
Figura 10 – Representação da FTA.....	38
Figura 11 – Diagrama de causa e efeito da quebra do motor de tração.....	39
Figura 12 – Representação do caminhão transportador carregado.....	40
Figura 13 – Representação a memória de cálculo do dimensionamento da chaveta.....	41
Figura 14 – Representação de uma chaveta fora da especificação.....	41
Figura 15 – Detalhe do pinhão quebrado.....	42
Figura 16 – Representação de batente em piso da galeria.....	42
Figura 17 – Representação da inclinação do piso.....	43
Figura 18 – Detalhe do pedal do acelerador do motor de tração.....	43
Figura 19 – Representa o pneu original do fabricante.....	44
Figura 20 – Representa o pneu após a mudança de fabricante.....	44
Figura 21 – Representa um tipo de pneu revestido por correntes.....	44
Figura 22 – Ilustração da quebra do eixo do motor de tração.....	45
Figura 23 – Representa o caminhão transportador de minério.....	51
Figura 24 – Posição do motor de tração.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Simbologia dos eventos e portas lógicas.....	25
Quadro 2 – Formulário para construção da FMEA	30
Quadro 3 – Tempo de parada em função da quebra do motor de tração.....	34
Quadro 4 – Conformidades da manutenção preditiva.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição das atividades por tipo de manutenção.....	20
Gráfico 2 – Representação do tempo de corretiva para troca do motor.....	33
Gráfico 3 – Custo da perda de produção em função do tempo de corretiva.....	34

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce

MCM – Manutenção de Classe Mundial

SGM – Sistema de Gestão da Manutenção

FTA – Árvore de Falhas

FMEA – Análise dos efeitos e modos de falhas

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

TMPR – Tempo Médio Para Reparo

SC – Shuttle Car

D (t) – Disponibilidade em função do tempo

SUMÁRIO

RESUMO.....	07
LISTA DE FIGURAS.....	08
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	09
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Justificativa.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Conceitos de Manutenção.....	17
2.1.1 Evolução da Manutenção.....	18
2.1.2 Tipos de Manutenção.....	19
2.1.2.1 Manutenção Corretiva não Planejada.....	20
2.1.2.2 Manutenção Corretiva Planejada.....	21
2.1.2.3 Manutenção Preventiva.....	21
2.1.2.4 Manutenção Preditiva.....	22
2.1.2.5 Manutenção Detectiva.....	23
2.1.2.6 Engenharia de Manutenção.....	24
2.2 Árvore de Falha – FTA.....	24
2.3 Análises dos Efeitos e Modos e Falhas – FMEA.....	28
2.4 Braintorming – Tempestade de Ideias.....	30
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Abordagem da Pesquisa do Estudo de Caso.....	32
3.2 Etapas do Desenvolvimento do Estudo de Caso.....	32
3.3 Informações Preliminares.....	32
3.4 Descrições das Ocorrências.....	33

3.5 Analogia das Ocorrências.....	34
3.6 Evidências dos Planos de Manutenção.....	36
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	38
4.1 Desenvolvimento da Árvore de Falha – FTA.....	38
4.2 Conclusões sobre as Análises de Falhas	39
4.3 Ações Executadas.....	45
4.4 Ações Propostas.....	46
5 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICES.....	50
APÊNDICES A.....	51
ANEXOS.....	52
ANEXOS A	53

1 - INTRODUÇÃO

No contexto moderno de gestão de manutenção, o conhecimento e a avaliação das perdas de desempenho de equipamentos e componentes são primordiais para a garantia do negócio, em quaisquer setores produtivos.

Em equipamentos móveis de grande porte utilizados em extração mineral, os custos relativos a recondicionamento de componentes representam aproximadamente 52% do custo final de produção, sendo portanto, um dos principais pontos de controle e análise da equipe de manutenção.

A efetiva atuação da equipe de manutenção utilizando as técnicas modernas de manutenção minimiza, mas não eliminam as falhas, principalmente as aleatórias e acidentais.

O sucesso de uma manutenção eficiente reside na garantia do desempenho requerido pelo sistema ao mais adequado custo. Isto significa que os métodos de manutenção devem ser baseados, sobretudo no claro entendimento das falhas que incidem sobre os diversos níveis do sistema.

Por isso, é essencial investigar, analisar e identificar as causas mais prováveis das falhas acidentais ocorridas em componentes do sistema dos equipamentos de mineração, como caminhões transportadores, carregadeiras, mineradores e outros equipamentos de apoio, considerando que as técnicas de manutenção preventiva, detectiva e preditiva não evitaram a ocorrência da falha.

Eliminar a reincidência dessas falhas através de planos de ação efetivamente elaborados e implementados, garantindo eficiência do processo de análise de falhas.

Este trabalho, baseado em referências bibliográficas e experiência de trabalho, foca a aplicação de metodologia de análise de falhas em ocorrências de natureza aleatória e acidental em componentes removidos por falhas, impactando em redução de vida útil e elevação dos custos de recondicionamento.

Baseia-se na análise pós-falha, ou seja, analisam todos os dados, cenários, variáveis e atuação do homem que de alguma forma impactaram

contribuíram para a ocorrência da falha, determinando a causa raiz mais provável da falha e atuando através de ações para que o evento não ocorra novamente, ou tenha um intervalo entre manutenções prolongado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um trabalho de análise de falha sobre as quebras mecânicas dos motores de tração dos caminhões transportadores (shuttle car), utilizando modelos e metodologias de pesquisas aplicadas no sistema de manutenção da mina de potássio.

1.1.2 Objetivos Específicos

Utilizar a metodologia do Brainstorming para identificação das causas fundamentais que levam as falhas.

Aplicar a técnica da árvore de falha, a fim de produzir as prováveis causas da anomalia.

Desenvolver o diagrama de causa e efeito, a fim de solucionar as causas das anomalias encontradas durante a elaboração da árvore de falha.

1.2 Justificativa

A globalização da economia mundial direciona as organizações de um modo geral a rever os modelos de gestão e estratégias de manutenção, de tal forma que, as mesmas possam se alinhar a nova realidade do mercado, e assim se manter competitiva em relação aos seus concorrentes.

As atividades de manutenção desempenham um papel de fundamental importância em relação ao plano estratégico da empresa, pois requerem uma redução significativa dos custos e um aumento de qualidade de seus produtos, refletindo de forma positiva em seus negócios.

Dessa forma, pretende-se com este estudo de análise de falha do motor de tração do caminhão transportador, contribuir para que ocorra uma menor frequência de quebra dos equipamentos e em consequência uma maior

disponibilidade dos ativos, que será revertido em um ganho significativo na produção da mina de potássio da empresa Vale no estado de Sergipe.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A competitividade industrial já não causa mais surpresas e nem se constituem novidades as freqüentes referências às necessidades de mudanças da competitividade industrial.

Desde o pós-guerra, as características das atividades econômicas experimentaram alterações que impuseram diferentes ritmos de desenvolvimento, até o período atual, em que decididamente a competitividade industrial deixou de ser definida pelos ganhos de escala e da produção seriada, tipificada pelo modelo "fordista" passando a ser decidida nos campos da qualidade e da produtividade.

Com base na literatura este trabalho se fundamentará nas teorias referentes às técnicas de manutenção industrial que são direcionadas por um conjunto de normas e princípios, a fim de utilizar as ferramentas da qualidade para gestão do tratamento das falhas.

2.1 Conceitos de Manutenção

Do ponto de vista de Pinto e Xavier (1999), a manutenção não pode ser vista como uma atividade de reparação e sim, uma atividade que garante a disponibilidade da função do equipamento e instalação de modo que esteja sempre na condição de atender o processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados. Apesar da função maior da manutenção ser de restabelecer as condições de funcionamento requerida de um determinado equipamento, um item muito importante é a questão dos custos atribuídos a manutenção, que deve ser adequado a realidade da empresa e de sua estratégia de mercado.

Segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 5462/1981, a manutenção é o conjunto de ações que tem como finalidade, manter ou recolocar um item em um estado no qual ele pode realizar a função requerida. Entretanto a Norma Inglesa BS

– 3811/1974 tem como conceito de manutenção uma combinação de qualquer ação que visa reter ou reparar um item de acordo com um padrão aceitável.

De acordo com (MONCHY, 2005), a manutenção originou-se do vocabulário militar, cuja definição era manter o abastecimento das tropas de forma constante. Apesar dos vários conceitos existentes na literatura sobre a manutenção, de um modo geral existe uma combinação de várias ações técnicas e administrativas que tem como objetivo manter ou alterar a condição de um item de forma que este cumpra a sua função necessária.

2.1.1 - Evoluções da Manutenção

De forma sintetizada, a evolução da manutenção nasce com o caráter corretivo, corrigindo falhas após sua ocorrência, trata-se da Manutenção Corretiva. Esta situação muda com o aumento da produção em série e a complexidade das máquinas trazendo junto um novo conceito de manutenção, a Manutenção Preventiva que é baseada no tempo e com intervalos fixos para manutenção. Em um terceiro momento, a necessidade de aumentar a confiabilidade e a qualidade dos processos e diminuir os custos da manutenção preventiva, que chegaram a se equiparar com os custos operacionais, direcionam a manutenção para uma estratégia inovadora, no qual os equipamentos eram monitorados pelas suas variáveis de funcionamento indicando a real necessidade e o momento certo para uma intervenção de reforma ou reparo. Tratava-se da Manutenção Condicional, como foi conhecida inicialmente, passando para Manutenção Seletiva e hoje, Manutenção Preditiva (TAVARES, 1999).

A Figura 01 mostra a evolução histórica dos tipos de manutenção relacionando os resultados com o tempo.

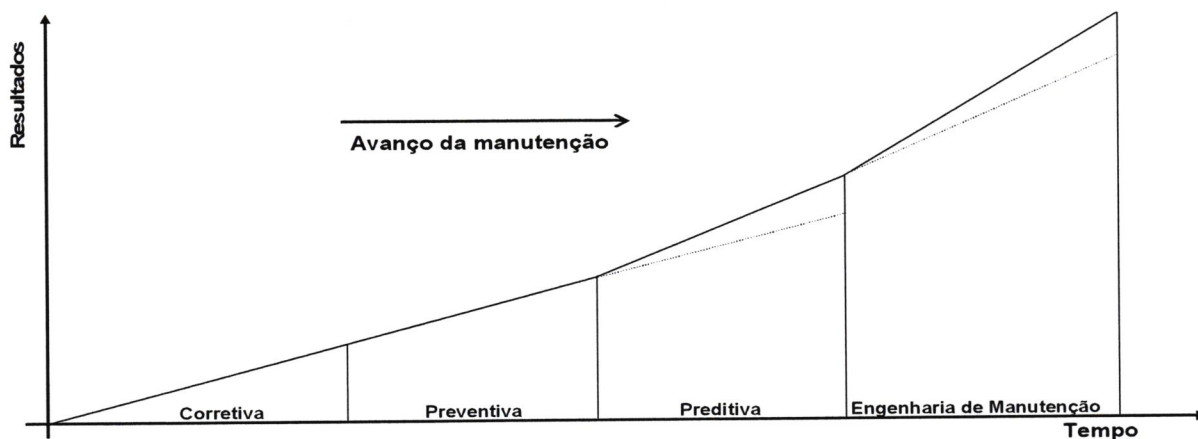


Figura 01 - Avanço histórico da manutenção e seus resultados.
Fonte: Pinto e Xavier (1999).

2.1.2 - Tipos de Manutenção

De acordo com Nascimento (2003), existem diversos tipos de manutenção e cada um com sua característica própria. A sua aplicação e definição evolui de acordo com o estado do equipamento e seu comportamento perante a sua taxa de falha.

Do ponto de vista de Pinto e Xavier (1999), a grande variedade de denominações para classificar os métodos de manutenção, causa certa confusão na hora de caracterizar e selecionar um tipo de manutenção.

Para Torres (2005), os tipos de manutenção selecionados devem atender as expectativas da organização e ser voltado para o resultado.

Com a evolução da manutenção são apresentadas novas ferramentas para sua gestão. Estas, apesar de receber a palavra manutenção, não são novos métodos de manutenção e sim, ferramentas que vão dar aporte aos seis principais métodos básicos de manutenção. Dentre estas, destacam-se: Manutenção Produtiva Total, Manutenção Centrada na Confiabilidade e Manutenção Baseada na Confiabilidade (PINTO e XAVIER, 1999).

Para delimitação do escopo do trabalho, serão conceituados os seis métodos básicos de manutenção relatados por Pinto e Xavier (1999).

No Gráfico 01 logo abaixo pode ser verificado a distribuição das atividades por tipo de manutenção *corretiva*, *preventiva*, *preditiva*, *detectiva* e *engenharia de manutenção*.

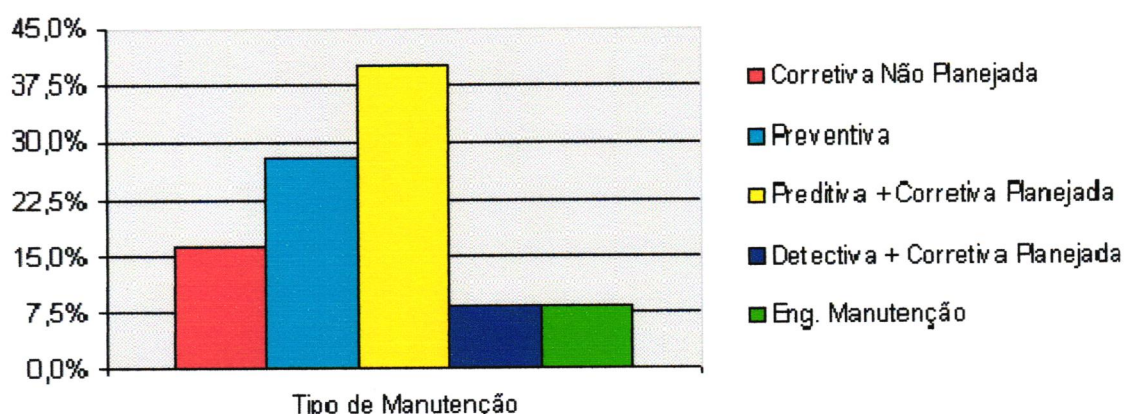


Gráfico 01 – Distribuição da atividade por tipo de manutenção.
Fonte: CVRD (2009)

2.1.2.1 Manutenção Corretiva não Planejada

Segundo Pinto e Xavier (1999), é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado do equipamento. Caracteriza-se pela ação, sempre após a ocorrência da falha, não esperada, e sua adoção levam em conta fatores técnicos e econômicos. A manutenção Corretiva possui um alto custo, pois a quebra inesperada pode provocar perdas de produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção, pois não existe um planejamento prévio para a execução. Quando uma organização possui o maior número de manutenção na classe não planejada o seu desempenho empresarial esta aquém das solicitações do mundo competitivo.

Ainda de acordo com Pinto e Xavier (1999), a manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes: manutenção corretiva não planejada, quando há a ocorrência da falha, e a manutenção planejada, o equipamento esta na condição de defeito, mas não houve perda total da sua função.

Para Xenos (1998), a manutenção corretiva apresenta custos de manutenção mais baixos do que prevenir as falhas, contudo o seu efeito pode causar grandes perdas devido à interrupção do processo produtivo.

Para Tavares (2002), as intervenções realizadas nos equipamentos que apresentam falhas são denominadas como manutenção corretiva.

De acordo com Monchy (2005), a manutenção corretiva corresponde a uma ação de defesa enquanto se espera pela nova ocorrência da falha, que é aleatória.

Com base nas descrições dos autores pode-se verificar que a manutenção corretiva não planejada tem como finalidade remover um efeito

indesejado, podendo ser a falha ou um defeito. Apesar de ser considerada como um tipo de manutenção reativa pode ser aplicado, como uma estratégia de manutenção, em caso de dificuldades técnicas de acesso ao equipamento para manutenção ou até mesmo onde ocorra impacto direto na produção.

2.1.2.2 Manutenção Corretiva Planejada

De acordo com Xenus (1998), o sistema não pode se conformar com a ocorrência de falhas como um evento mesmo que a manutenção corretiva planejada tenha sido a adotada por ser mais vantajosa, não podemos simplesmente nos conformar com a ocorrência de falhas como um evento já esperado.

Na visão de Menezes e Almeida (2002), a manutenção corretiva planejada é baseada na condição operacional do equipamento em intervalos aperiódicos, para remoção de um defeito ou sintoma identificados através das inspeções preditivas, detectivas e sensitivas.

Segundo Nascimento (2003), a manutenção corretiva planejada é a remoção de um defeito, antes que este entre em condição de falha, de forma planejada em função de um acompanhamento através da manutenção preditiva, manutenção detectiva, ou de uma decisão gerencial que atenda a uma conveniência da empresa.

2.1.2.3 Manutenção Preventiva

Segundo Filho (2000), a manutenção preventiva é caracterizada como todo serviço realizado em máquinas que não estejam em falha, ou seja, dentro das condições operacionais ou no máximo em estado de defeito.

De acordo com Oliveira (2003), a manutenção preventiva é a manutenção que tem como objetivo reduzir a probabilidade de falha de uma máquina ou equipamento. Segundo o autor esse tipo de manutenção pode ser dividido em manutenção de inspeção ou rotina e sistemática ou periódica.

Para Pinto e Xavier (1999), durante a fase de seleção do método de manutenção, alguns fatores devem ser levados em consideração quando se

pretende adotar a manutenção preventiva. Como por exemplo, os aspectos relacionados com a segurança pessoal ou das instalações que obrigam a intervenção, normalmente para substituição de componente ou até mesmo o sistema e equipamentos complexos que demandam operação contínua.

Do ponto de vista de Lafraia (2001), um sistema que não sofre manutenção preventiva tem sua disponibilidade decrescente no tempo à medida que a taxa de falha cresce. Verifica-se que em curto prazo se não for realizada a manutenção preventiva em um equipamento a disponibilidade será máxima e decrescera ao longo do tempo, conforme a Figura 02 abaixo.

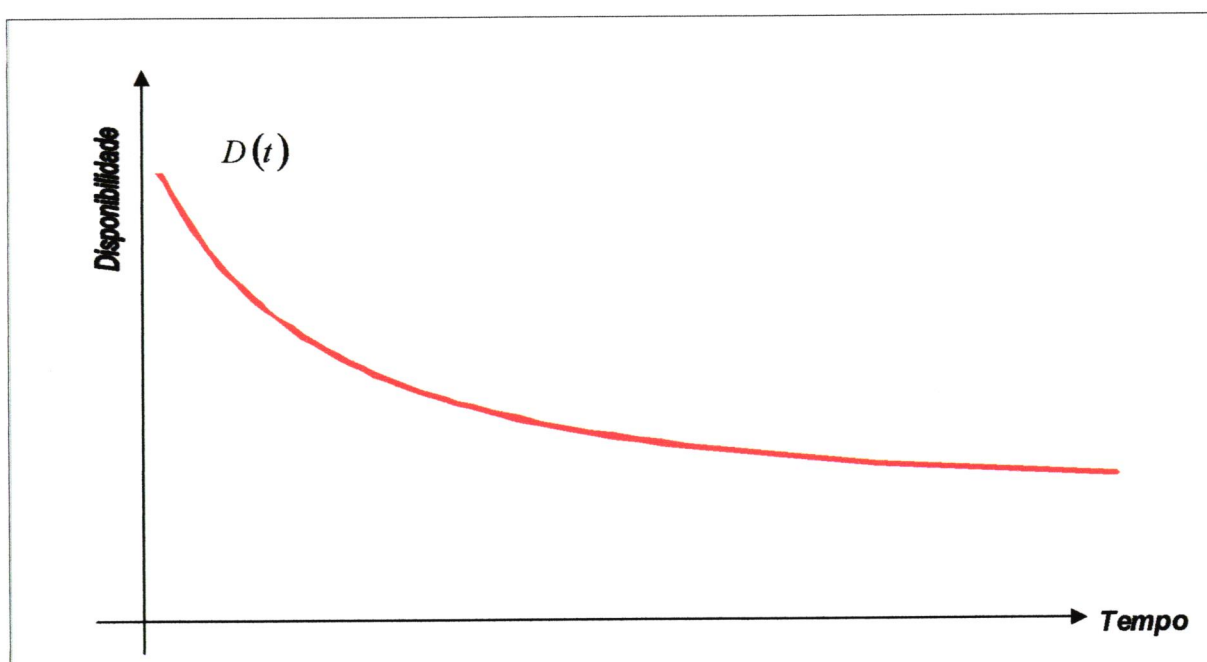


Figura 02: Sistema sem manutenção preventiva.
Fonte: Lafraia (2001)

2.1.2.4 Manutenção Preditiva

Segundo as normas da ABNT NBR 5462 (1994), a manutenção preditiva é um tipo de manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análises, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Conforme a descrição de Pinto e Xavier (1999), manutenção preditiva é a atuação realizada com base na alteração dos parâmetros de funcionamento e desempenho de um equipamento. De acordo com o autor, a política de manutenção preditiva deve tomar como base as seguintes condições: das falhas que ocorrem

nos equipamentos devem apresentar causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada; das instalações, sistemas e equipamentos devem permitir algum tipo de monitoramento ou medição a fim de garantir a qualidade de serviço; das instalações, sistemas e equipamentos devem receber este tipo de manutenção em função dos custos envolvidos; da implantação de um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico de forma sistemática.

Ainda de acordo com Pinto e Xavier (1999), a manutenção preditiva, também conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento é caracterizada pelo monitoramento de modificação dos parâmetros e condição de desempenho do equipamento, sendo realizado através de uma rota de pontos de medição a serem monitorados.

Segundo Nascimento (2003), em relação aos altos custos envolvidos na aquisição de instrumentos e no treinamento de pessoal, em médio prazo esses custos é compensado em função dos resultados obtidos e de maiores índices de desempenho dos equipamentos.

2.1.2.5 Manutenção Detectiva

De acordo com Pinto e Xavier (1999), a manutenção detectiva passou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90 e caracteriza-se por permitir a detecção e correção das falhas, mantendo o sistema operando sendo que sua importância cresce a cada dia, em virtude da maior automação e instrumentação das plantas industriais. Segundo os autores esse tipo de manutenção esta focada nos sistemas de proteção dos equipamentos, com a finalidade de identificar falhas ocultas ou não perceptíveis aos sentidos dos responsáveis pela operação, assim como da manutenção.

Na Figura 03 podemos verificar a correlação entre os vários tipos de manutenção e os seus resultados, observa-se uma melhoria à medida que as técnicas de manutenção vão sendo introduzidas. No gráfico pode ser visualizada uma melhoria continua em relação ao comportamento da manutenção corretiva para a manutenção preventiva. Observa-se também a quebra de paradigmas em função do desempenho acima da média, em relação à manutenção preventiva para a preditiva, assim como da preditiva para a engenharia de manutenção.

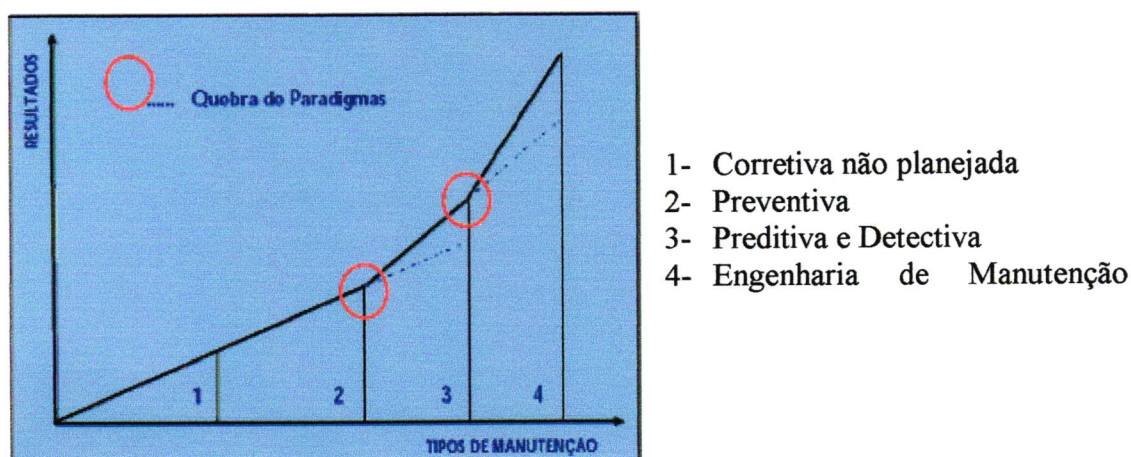


Figura 03: Representa a correlação entre os tipos de manutenção e seus resultados.
Fonte: CVRD (2009).

2.1.2.6 Engenharia de Manutenção

Do ponto de vista de Carvalho (2004), o grupo de engenharia de manutenção é um órgão que deve perseguir os melhores resultados, aplicando as técnicas modernas e inovadoras de manutenção e estar preparada para os avanços tecnológicos que a manutenção requer.

De acordo com Pinto e Xavier (1999), a Engenharia de Manutenção é, antes de tudo, uma cultura que se caracteriza pela utilização de dados para análise, estudos e melhorias nos padrões de operação e manutenção dos equipamentos, por meio de técnicas modernas. A engenharia de manutenção tem como base a mudança cultural, na qual muda a cultura de um conserto contínuo dos equipamentos, para uma procura incessante das causas básicas que provocam o baixo desempenho e a indisponibilidade dos mesmos.

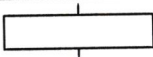
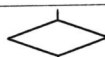
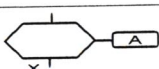
Na visão de Menezes e Almeida (2002), a missão da engenharia de manutenção é dar suporte a gestão e controle da manutenção através de técnicas de manutenção modernas, voltadas para confiabilidade de serviço.

2.2 Árvore de Falha - FTA

De acordo com Seixas (2005), a técnica da árvore de falha é desenvolvida quando há uma interação de vários eventos produzindo novos eventos, estão interligados através dos operadores lógicos "E" e "OU" (AND e OR). Essas relações permitem a construção metódica que representa uma estrutura do sistema considerado.

Para Scapin (1999), Os meios utilizados na construção da FTA com finalidade de representar as relações de causas estabelecidas e desdobradas a partir do evento topo pode ser dividido em dois: portas lógicas e simbologia dos eventos. As portas lógicas conectam os eventos de acordo com suas relações de causas levando-se em consideração o funcionamento do sistema. Os eventos conectados a uma porta lógica "E" ocorrem somente se todos os eventos de entrada ocorrer, em sentido oposto, na porta lógica "OU" os eventos ocorrem somente se um dos eventos de entrada ocorrer, uma porta lógica por receber varia entradas, mas apresentar somente uma saída, a representação de entrada, que é a linha de conexão entre os eventos, pode ser feita em qualquer ponto dos símbolos utilizados para designá-las.

Existem símbolos para estruturação de uma FTA, para este trabalho serão usados os apresentados no Quadro 01, abaixo.

SÍMBOLOS	DESCRIÇÃO	DEFINIÇÕES
	PORTA "OU"	Operação união de eventos, isto é, um evento saída ocorre se uma ou mais entrada ocorrem.
	PORTA "E"	Operação interseção de eventos, isto é, um evento saída ocorre se e somente se uma ou mais entrada ocorrem.
	RETÂNGULO	Evento falha, é usualmente o resultado da combinação lógica de outros eventos.
	CÍRCULO	Evento falha primária (independente).
	LOSANGO	Evento falha não totalmente desenvolvido com relação as suas causas, é apenas um evento falha assumido.
	PORTA INIBIDORA	A saída existe quando "X" existe e a condição está presente, esta porta funciona como uma porta "E" e é utilizado para um evento falha secundário "X".
	TRIÂNGULO ENTRA	Os símbolos triângulo fornecem uma ferramenta para evitar repetições de uma árvore de falhas ou para transferir a construção de uma árvore de uma folha para a próxima. A letra interna representa o ramo a ser considerado.
	TRIÂNGULO SAI	
	CASA DOS EVENTOS	A casa de eventos é basicamente um evento terminal especial em razão de poder ligar ou desligar, de acordo com a análise crítica do especialista de confiabilidade.

Quadro 1 – Simbologia dos eventos e portas lógicas utilizada na FTA com suas definições.
Fonte: Scapin (1999).

Segundo Silva (2004), a árvore de falha apresenta características quantitativas e qualitativas. Dentro da análise qualitativa, o objetivo é identificar a causa básica que leva a falha e a seqüência que a desencadeou.

De acordo com Seixas (2005), dentro da análise qualitativa acrescenta o conceito do conjunto de corte mínimo como uma forma de reduzir a árvore de falhas para uma forma logicamente equivalente em termos de combinação dos eventos básicos suficientes para causar a ocorrência da causa superior. De forma sucinta, o

conjunto de corte mínimo são os eventos nos quais não podem ser reduzidos em número, e cuja ocorrência causa a ocorrência do evento superior.

Do ponto de vista de Seixas (2005) existe uma seqüência de procedimento para condução da análise qualitativa da FTA usando álgebra *booleana*, são eles:

- A) Definir portas e eventos primários;
- B) Listar os tipos de portas e as entradas;
- C) Escrever a equação *booleana* para cada porta;
- D) Utilizar as propriedades da álgebra *booleana* para explicar o evento superior em termos dos conjuntos de corte mínimo;
- E) Eliminar as redundâncias dos conjuntos de corte, utilizando álgebra *booleana*, para obter os conjuntos de corte mínimo.

Segundo Scapin (1999), a Figura 04 exemplifica a aplicação das simbologias com aplicação hipotética de uma árvore de falhas, onde é verificado o evento topo e seu desdobramento através dos eventos de forma seqüenciada e lógica. Na árvore pode-se verificar que para o evento topo existe um evento básico ou falha primária em um dos ramos, no outro ramo aparece um novo evento falha, os dois eventos na condição da porta lógica OU. Este novo evento possui dois novos eventos falhas ligado por uma porta lógica E, ou seja, para que o evento “Tensão presente bobina disparo” ocorra, os evento “Contato relé “A” fechado” e “Contato relé “B” fechado” devem ser desencadeados juntos.

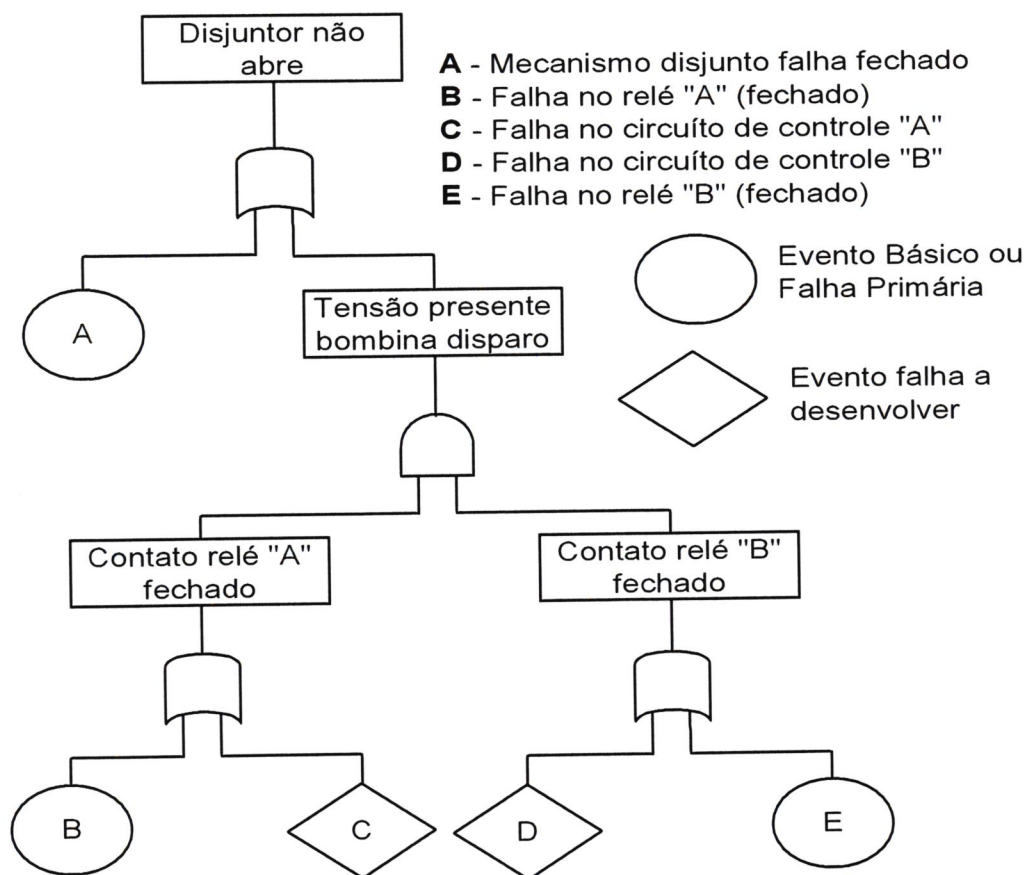


Figura 4: Árvore de falhas de um circuito.
 Fonte: Scapin (1999).

Na visão de Silva (2004), a ferramenta FTA vem modificando e melhorando a confiabilidade dos parques industriais que as utilizam, conseguindo inúmeros benefícios seguidos com sua implantação tais como:

- A) Conhecimento aprofundado do sistema e de sua confiabilidade;
- B) Detecção das falhas singulares (aquelas cuja ocorrência leva ao evento topo) desencadeadora de eventos catastróficos e da sequência de eventos mais prováveis;
- C) Possibilita decisões de tratamento de risco baseados em dados quantitativos;
- D) Pode ser realizado em diferentes níveis de complexidade;
- E) Ótimos resultados podem ser alcançados apenas com a aplicação dos métodos qualitativos;
- F) Complementa-se com a análise dos efeitos e modos de falhas – FMEA;

2.3 Análise dos Efeitos e Modos de Falhas - FMEA

De acordo com Moretti e Bigatto (2009), o FMEA é uma técnica de gestão do risco que visa identificar os possíveis modos de falhas em processos, produtos ou sistemas junto com suas respectivas causas. Além de identificar os modos de falhas, o FMEA aponta os efeitos indesejáveis que são produtos da falha.

Segundo Seixas (2005), essa técnica surgiu na década de 70, e começou a ser utilizada pela área de manutenção, através da norma americana MIL-STD-1629A, como uma ferramenta complementar para o programa de manutenção baseados em critérios econômicos, operacionais e de segurança. Nos tempos atuais, as empresas usam o FMEA como uma ferramenta para desenvolvimento de programas de manutenção personalizados de acordo com as necessidades de cada organização.

Na visão de Silva (2004), o desenvolvimento do FMEA deve atender a dois pré-requisitos. O primeiro trata a determinação das funções do produto, equipamento ou componente verificando sua análise funcional e requisito de desempenho. O segundo atende ao desenvolvimento do digrama de blocos seguindo uma estrutura de hierarquia, funcionalidade e confiabilidade.

Para Seixas (2005), o FMEA tem como resultado um lote de ações corretivas necessárias para que as falhas não alcancem os clientes ou interfira em um processo produtivo, dessa forma, proporcionando um aumento da qualidade, durabilidade e confiabilidade dos sistemas, equipamentos, componentes e produtos. Segundo o autor, o bom uso dessa ferramenta permitirá:

- A) Identificar os modos de falhas conhecidos e potenciais;
- B) Identificar a causa e efeito da cada modo de falha;
- C) Dar prioridade aos modos de falhas que apresentam maior risco para a instalação e clientes;
- D) Identificar e programar as ações corretivas necessárias.

Na visão de Seixas (2005), a execução da análise dos efeitos e modos de falhas deve seguir as seguintes premissas, como mostra a Figura 05.

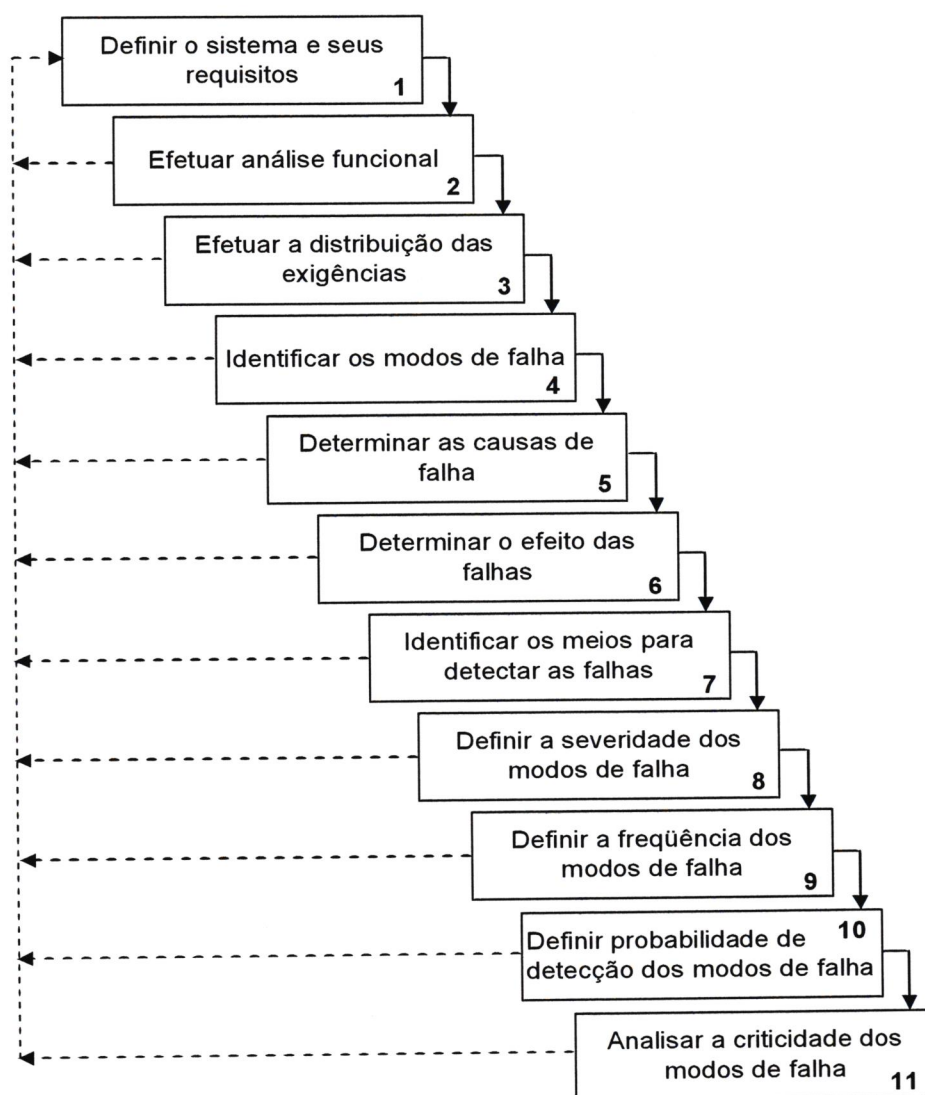


Figura 5: Fluxograma dos passos para a execução do FMEA.
Fonte: Seixas (2005).

De acordo com Silva (2004), o FMEA apresenta vários benefícios dentre os quais se destacam: Redução do tempo de ciclo de um produto; Redução dos custos com projetos; Melhora o programa de simulações de testes dos produtos; Reduz as falhas potenciais dos sistemas ou equipamentos em serviço; Desenvolve uma metodologia para prevenção dos defeitos ao invés das ações corretivas.

O FMEA deve ser conduzido em um formulário típico e existem vários modelos de formulários, onde constam todos os campos necessários a sua construção.

O Quadro 02 apresenta o formulário de identificação dos campos do FMEA.

FMEA - Análise dos Efeitos e Modos de Falha											
Sistema _____			Data ____/____/____		Produto/Processo _____						
Subsistema _____			Folha ____/____		Elaborado por _____						
Item	Componente/ Processo	Função	Falhas		Severidade	Causas	Ocorrência	Meios de Detecção da Falha	Detecção	RPN	Contra Medidas
			Modo (s)	Efeito (s)							
			Campo 1	Campo 2		Campo 3					

Quadro 02: Formulário típico para construção do FMEA.
Fonte: Silva (2004).

De acordo com Seixas (2005), para construção da FMEA destacam-se algumas ferramentas de apoio, quais sejam:

A) Matriz de entrada: matriz na qual são analisados os modos, efeito e causas das falhas, associados à severidade, ocorrência e detecção;

B) Diagrama Causa e Efeito: utilizada para estruturar a condução da FMEA durante a fase das discussões e identificação das causas das falhas;

C) Gráfico de Área: ferramenta utilizada para separar os modos de falhas em três categorias, alta, média e baixa, utilizando a ocorrência versus severidade em forma de matriz;

D) Árvore de Falha: ferramenta utilizada para predizer ou estimar os modos de falha ou causas de falha no FMEA.

2.4 Brainstorming

Como descrito por Aguiar (2004), o *Brainstorming*, também conhecido com tempestade de idéias, é uma técnica de geração de idéias criada na década de 30, baseia-se em dois princípios. O primeiro é a suspensão do julgamento, este princípio exige treinamento e envolvimento da equipe envolvida, o objetivo da suspensão do julgamento e evitar as críticas das idéias, deve-se deixar livre a criatividade. O segundo princípio indica que a quantidade leva a qualidade e quanto maior a quantidade de idéias maior o número de soluções viáveis.

Ainda segundo Aguiar (2004), este adiciona quatro regras aos princípios

do *Brainstorming*, regras que devem conduzir a seção ao êxito. A primeira regra é não criticar as idéias levantadas durante a seção; a segunda é deixar as idéias listadas na ordem em que elas vão sendo expostas pelos participantes, sem a necessidade de detalhamentos das idéias ou reorganização das mesmas; a terceira trata do clima presente na seção, que deve ser o mais informal possível e os participantes devem estar a vontade e sem medo de falar bobagem; a quarta e última, estabelecer conexões entre as idéias levantadas. Após conclusão da seção do *Brainstorming* as idéias devem passar por um filtro identificando as que apresentam potencial para solução do problema.

3 – METODOLOGIA

3.1 Abordagens da Pesquisa do Estudo de Caso

Segundo Gil (1991), a forma da pesquisa pode ser classificada como quantitativa ou qualitativa. Na abordagem qualitativa, será trabalhada a forma de estruturação das falhas através da identificação dos modos de falha seguindo os passos da análise do efeito e modos de falhas (FMEA) e a estrutura da árvore de falha (FTA). A parte quantitativa será explorada pela aplicação das técnicas da confiabilidade para determinação de alguns indicadores de desempenho de máquina, construção de gráficos de priorização e identificação dos sistemas, componentes e ou itens críticos.

Para a realização desse estudo de caso, foram utilizadas às formas de pesquisa qualitativa e exploratória, onde foram identificadas e estruturadas as falhas mecânicas dos motores de tração em caminhão transportador (shuttle car), utilizaram-se também as técnicas da coleta de dados no universo da amostragem entre os meses de novembro de 2008 a janeiro de 2009, em face da ocorrência de maior índice de quebras dos motores de tração, essas informações foram extraídas dos relatórios do sistema mina operação, assim como do sistema informatizado de manutenção, onde são armazenadas todas as paradas dos equipamentos da mina.

3.2 Etapas do Desenvolvimento do Estudo de Caso

Foram extraídas todas as informações relacionadas às falhas ocorridas nos motores tração dos caminhões rebaixados (*Shuttle-Cars*), congelados em um período de três meses (novembro de 2008 a Janeiro de 2009). Todo levantamento foi extraído do banco de dados do sistema informatizado de manutenção.

3.3 Informações Preliminares

O sistema de tração dos Shuttle Cars é composto por dois motores de tração, um de cada lado do equipamento, que transmite rotação para os cubos de

roda através de um sistema de cardans. Cada motor aciona as duas rodas de um lado do Shuttle Car.

Na saída do motor de tração temos um redutor e na saída do redutor temos acoplado de um lado o pacote de freio e do outro lado acoplado o eixo cardan. A ponta do eixo do motor está acoplado o pinhão que é cônico e fixado através de uma porca na ponta do eixo e pela chaveta, conforme a Figura 06 abaixo.

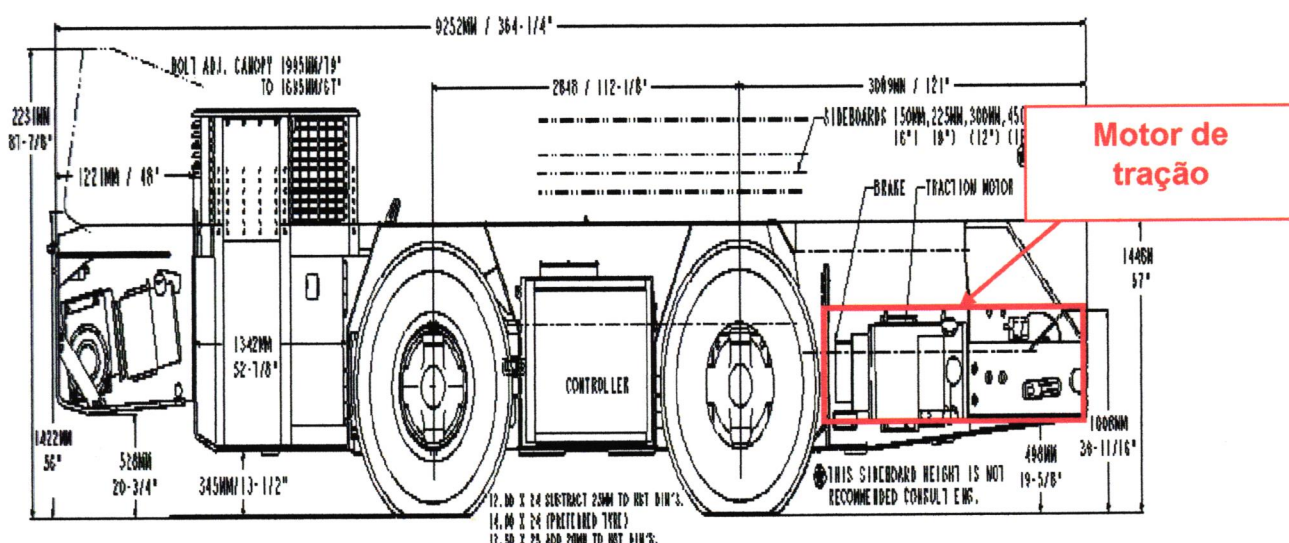


Figura 06 – Posição do motor de tração:
Fonte CVRD

3.4 Descrições das Ocorrências

Nos meses de novembro de 2008 à janeiro de 2009 tivemos 07 substituições de motores de tração de shuttle car devido quebra de eixo, pinhão e chaveta, conforme os Gráficos 02 e 03, assim como no Quadro 03 abaixo.

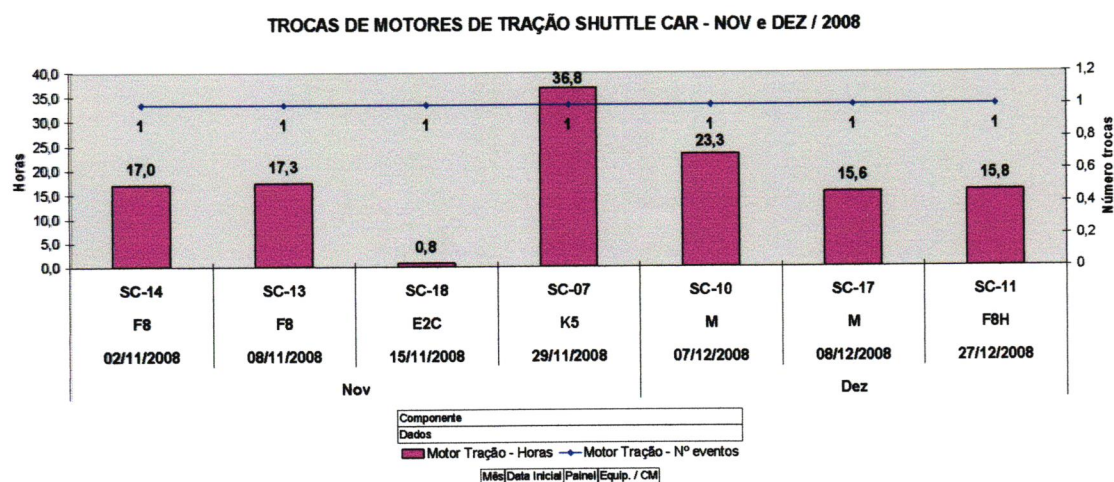


Gráfico 02 – Representação do tempo de corretiva para troca do motor de tração.
Fonte: CVRD

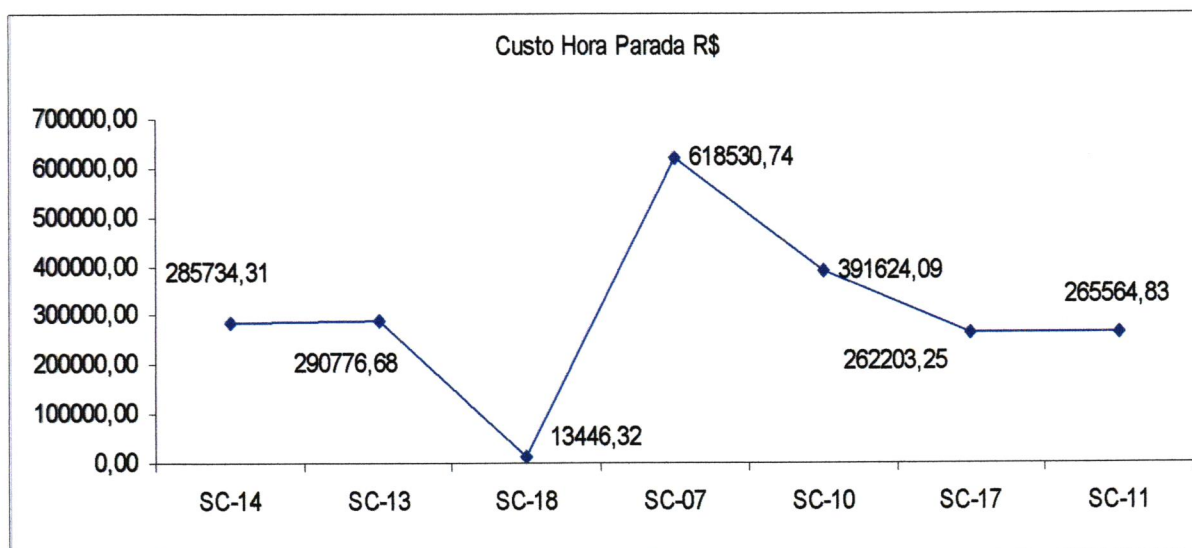


Gráfico 03 – Representa o custo da perda de produção em função da hora parada para realizar corretiva no motor de tração.

Fonte: CVRD

				Componente	Dados
				Motor Tração	
Mês	Data Inicial	Painel	Equip. / CM	DurHs	Contar de DurHs
Nov	02/11/2008	F8	SC-14	17,0	1
	08/11/2008	F8	SC-13	17,3	1
	15/11/2008	E2C	SC-18	0,8	1
	29/11/2008	K5	SC-07	36,8	1
Nov Total				72,0	4
Dez	07/12/2008	M	SC-10	23,3	1
	08/12/2008	M	SC-17	15,6	1
	27/12/2008	F8H	SC-11	15,8	1
Dez Total				54,8	3
Total geral				126,8	7

Quadro 03 - Tempo de parada em função da quebra do motor de tração.

Fonte: CVRD

3.5 Analogias das Ocorrências

Nas quebras de eixo foi observado as ocorrências de cisalhamento de toda a ponta do eixo, quebra de parte da ponta do eixo próximo a chaveta, quebras da chaveta, quebra dos dentes do pinhão e quebra do corpo do pinhão. Pode-se observar a situação do motor depois da quebra dos componentes nas Figuras 07 e 08, logo abaixo.

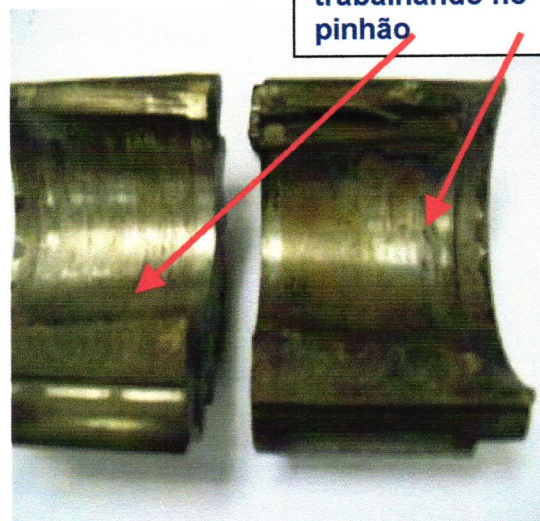


Figura 07 - Representação do pinhão quebrado.
Fonte: CVRD

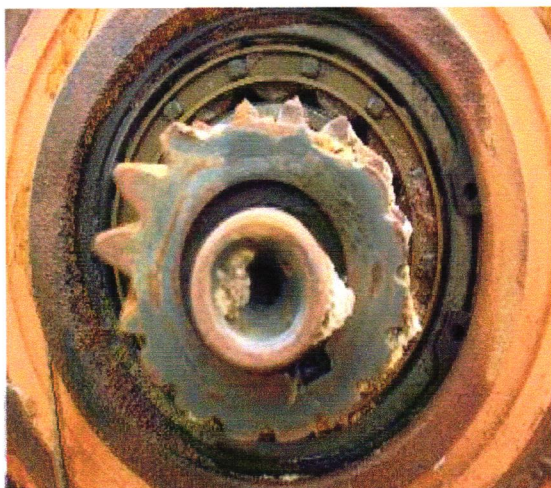


Figura 08 - Representação do pinhão quebrado no eixo do motor de tração.
Fonte: CVRD

Abaixo na Figura 09, pode ser observado o motor antes da quebra dos componentes.



Figura 09 - Montagem do pinhão e chave no eixo do motor de tração.
Fonte: CVRD

3.6 Evidências dos Planos de Manutenção

A) Existem planos preventivos cadastrados no sistema para o motor de tração do caminhão transportador:

Existe: Troca sistemática do conjunto de tração (pacote, motor e motor de tração). Freqüência 1200 horas ou 32 semanas.

- **Análise:** foi observado que essa estratégia não está sendo cumprida em função da falta de motores disponíveis para executar a troca ou por defasagem do vencimento do plano com a data da preventiva do painel.

B) **Existe:** plano de inspeção elétrica dos motores dos caminhões transportadores. Freqüência de 150 horas ou 2 semanas.

- **Análise:** esse plano está sendo executado conforme plano emitido pelo sistema informatizado de manutenção Maximo.

C) Existe Medição de vibração nos motores de tração.

Existe: com Freqüência 300 horas ou 8 semanas.

- **Análise:** as medições de vibração dos motores do SC não estão sendo cumpridas conforme cronograma por problemas no sistema de patola dos SC's, conforme relatório de acompanhamento da preditiva. O relatório abaixo se refere ao SC07, porém foi constatado que essa situação também se estende para os outros Shuttle Cars. Visto na Quadro 04.

Histórico de Laudos 01/10/2008 a 22/01/2009

Técnica: Vibração

Motor / Redutor Tração LD
Motor / Redutor Tração LE

Equipamento	Subconjunto (ativo)	Condição Preditiva	Data Análise Data Execução	Diagnóstico	Recomendação	Nº OS Máximo
14SC07	Motor / Redutor Tração LD	Intervenção Solicitada	23/10/2008	Não coletado devido a falta da patola DE□ impedindo seu içamento.	Instalar patola.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LE	Intervenção Solicitada	23/10/2008	Não coletado devido a falta da patola DE□ impedindo seu içamento.	Instalar patola.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LD	Intervenção Solicitada	19/11/2008	Falta subconjunto / Peça.	Não foi executado por falta de patola TD.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LE	Intervenção Solicitada	19/11/2008	Falta subconjunto / Peça.	Não foi executado por falta de patola TD.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LD	Executado	18/11/2008	Não foi coletado devido está com grande vazamento de óleo nas patolas, impossibilitando a elevação do mesmo.	Eliminar vazamento	2008-3758031
14SC07	Motor / Redutor Tração LD	Executado	18/11/2008	Não coletado devido a falta da patola DE□ impedindo seu içamento.	Instalar patola.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LD	Executado	18/11/2008	Não coletado devido a falta da patola impedindo seu içamento	Montar patola.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LE	Executado	18/11/2008	Não foi coletado devido está com grande vazamento de óleo nas patolas, impossibilitando a elevação do mesmo.	Eliminar vazamento	2008-3758031
14SC07	Motor / Redutor Tração LE	Executado	18/11/2008	Não coletado devido a falta da patola DE□ impedindo seu içamento.	Instalar patola.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LE	Executado	18/11/2008	Não coletado devido a falta da patola impedindo seu içamento	Montar patola	
14SC07	Motor / Redutor Tração LD	Intervenção Solicitada	03/12/2008	Falta subconjunto / Peça	Não foi coletado por motivo de falta da patola TD.	
14SC07	Motor / Redutor Tração LE	Intervenção Solicitada	03/12/2008	Falta subconjunto / Peça	Não foi coletado por motivo de falta da patola TD.	

Quadro 04 - Conformidade da manutenção preditiva.

Fonte CVRD

4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Desenvolvimentos da Árvore de Falha – FTA

Para a elaboração da árvore de falhas do sistema de tração, foi utilizada a metodologia do brainstorming, onde teve a participação de um grupo formado por engenheiros de manutenção, técnico especialista e operadores de equipamentos. Optou-se em montar primeiro uma FTA para uma provável quebra do eixo do motor de tração. Nesta árvore são verificados todos os desvios ou falhas dos equipamentos. A reunião foi iniciada com a colocação de duas perguntas, a primeira questionava as causas da quebra dos motores de tração e a segunda, quais são os itens que mais quebram nos motores de tração. As respostas, baseada em hipóteses e idéias, foram sendo inseridas em um formulário para tratamento posterior, conforme a Figura 10 a seguir.

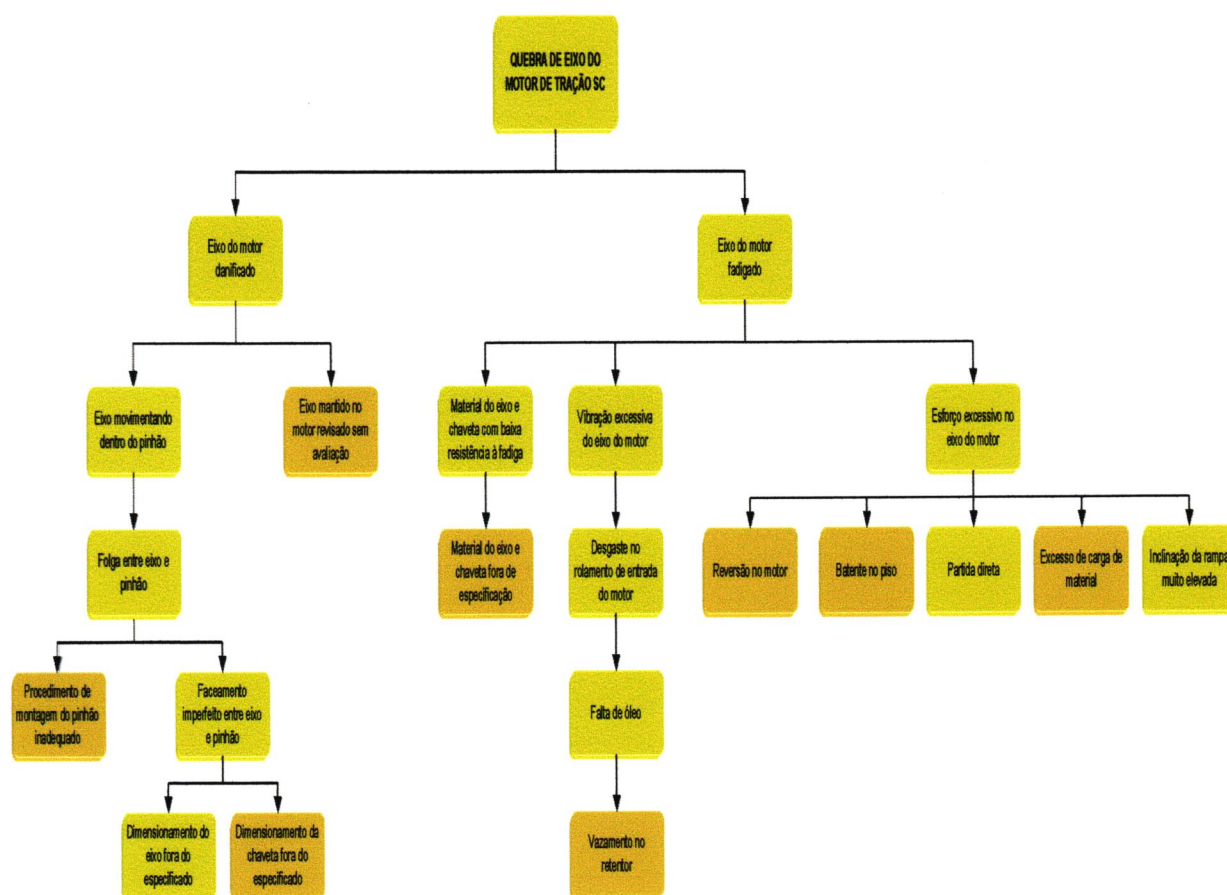


Figura 10 representa a FTA para quebra do eixo do motor de tração.

Fonte: CVRD

4.2 Conclusões Obtidas das Análises de Falhas

A fim de validar as conclusões levantadas na elaboração das análises de falhas foram avaliados os seguintes aspectos que favorecem para que venha a ocorrer a quebra do motor de tração, de acordo com o Ishikawa, ilustrado na Figura 11 abaixo:

Diagrama de causa e efeito

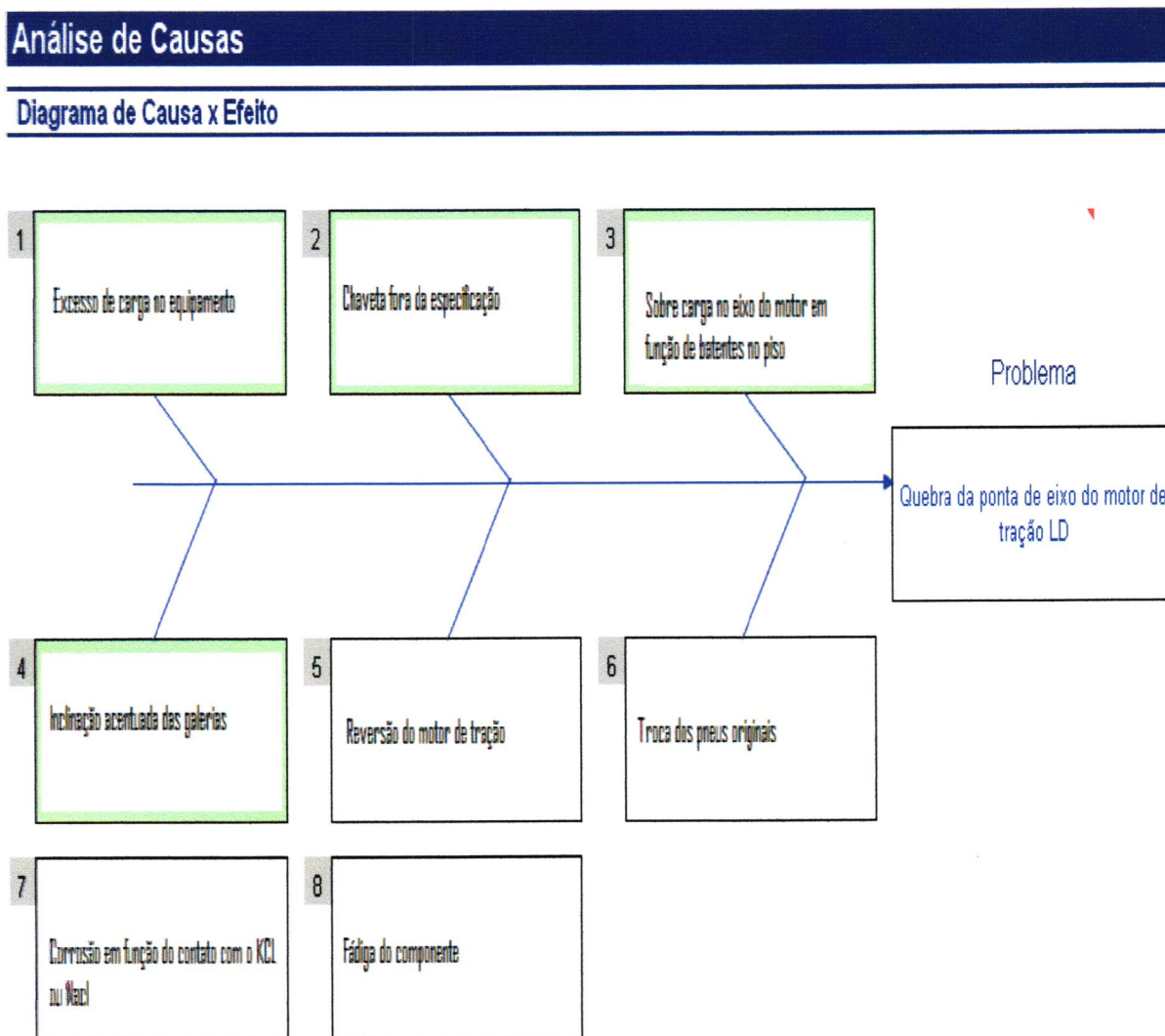


Figura 11 representa o diagrama de causa e efeito da quebra do motor de tração.
Fonte: CVRD

Abaixo, será analisado detalhadamente cada um dos pontos indicados pela análise realizada conforme Ishikawa acima:

1) Excesso de Carga de Material

Através de um estudo preliminar de identificação da carga de material que é carregado nos Shuttle Cars e com o apoio de um mapeamento tridimensional do equipamento em vazio e depois do equipamento carregado, utilizando um scanner de alta precisão, foi encontrado o volume da carga de material carregado ($12,15\text{m}^3$). A partir daí foi encontrado a massa correspondente a esse volume. Detectou-se que a carga de material carregada estava 3 ton acima da capacidade nominal do equipamento que é de 15 ton, conforme Figura 12 abaixo.

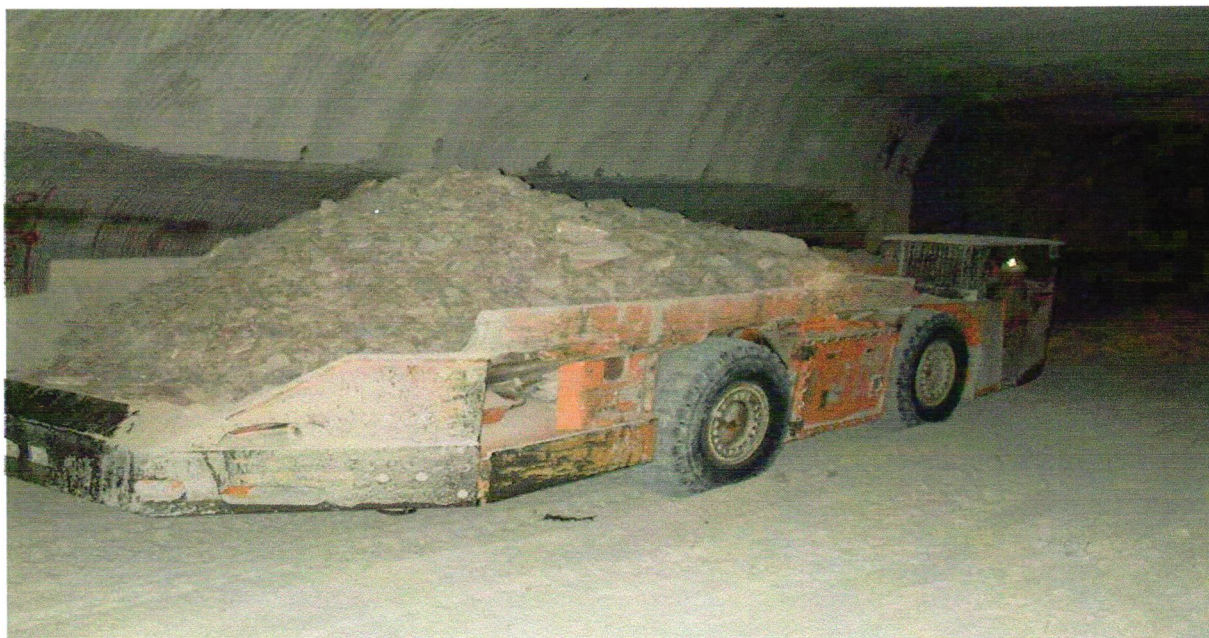


Figura 12 – Representa o caminhão transportador carregado acima da especificação
Fonte CVRD.

2) Chaveta Fora da Especificação

A Figura 13 mostra que a dimensão atual utilizada para fabricação das chavetas está fora do dimensionamento ideal, pois somando a altura dos rasgos da chaveta no eixo, 7 mm e na engrenagem, 4,9 mm, temos 11,9 mm no alojamento contra 12 mm da chaveta. Isso faz com que a montagem do conjunto eixo/pinhão fique com uma folga gerando um faceamento imperfeito entre eixo e pinhão.

Isso acarreta em um esforço radial no pinhão devido o fato de ser montado com uma interferência maior que a admitida. Esse esforço radial pode ter levado ao surgimento de microtrincas que se propagaram na extensão do pinhão vindo a fazer com o pinhão se rompesse.

Abaixo na Figura 13, temos a memória de cálculo de dimensionamento da chaveta.

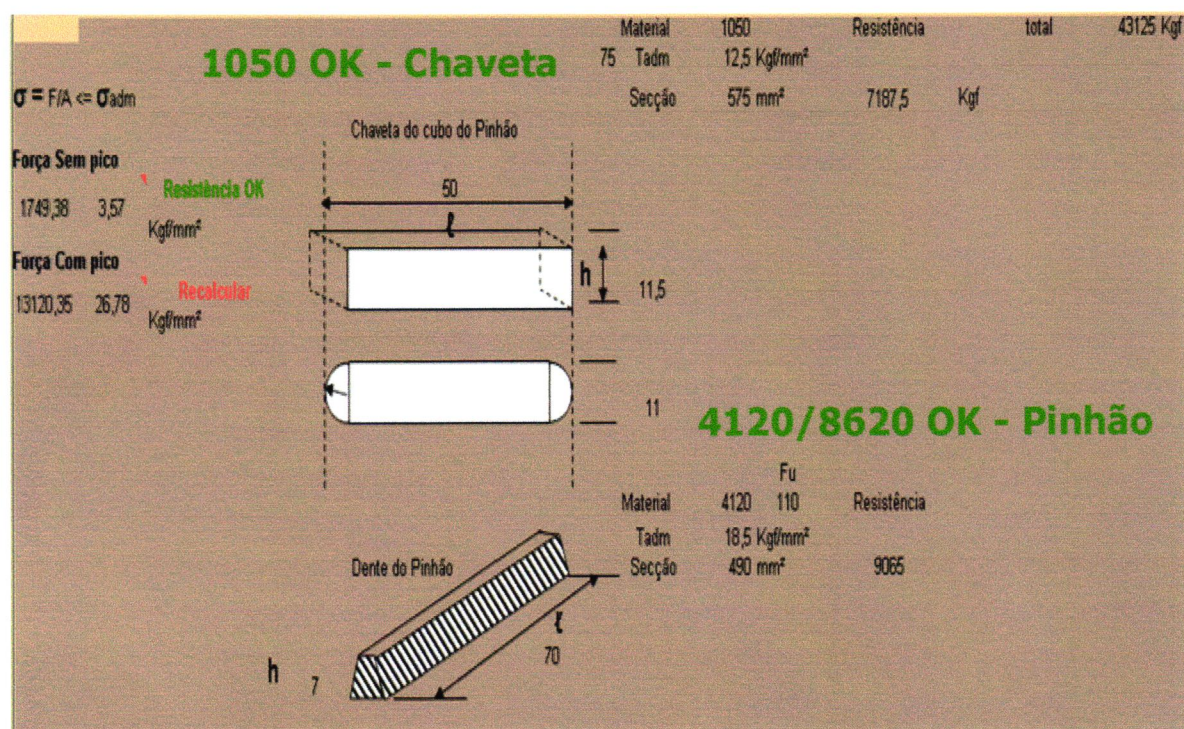


Figura 13 – Representa a memória de cálculo do dimensionamento da chaveta.
Fonte CVRD.

Além disso, foi encontrado chaveta montada com comprimento de 38 mm (onde o é de especificado 44 mm). A chaveta também apresentava deformações mostrando cisalhamento dos planos e trinca. Essa chaveta seria reaproveitada na montagem de um pinhão novo, onde é visualizado na Figura 14.

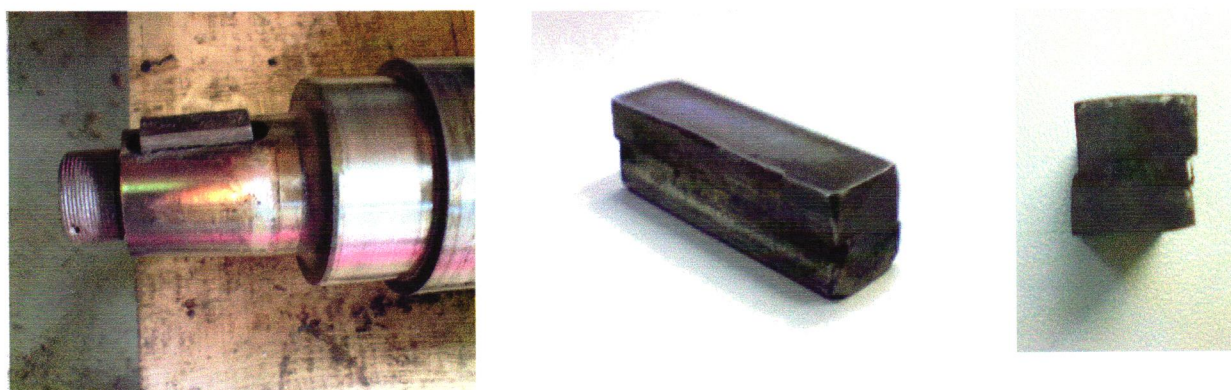


Figura 14 – Representação da chaveta fora de especificação.
Fonte CVRD.

A Figura 15 logo abaixo mostra o aspecto da quebra do pinhão.

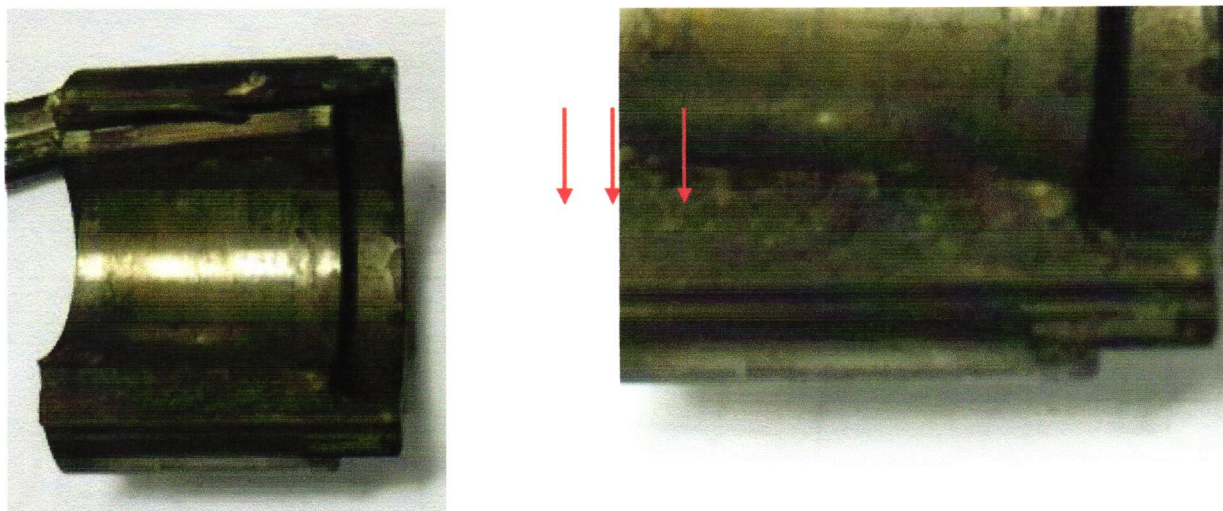


Figura 15 – Pinhão quebrado em função da deformação da chaveta
Fonte CVRD.

3) Batentes no Piso das Galerias da Mina.

A Figura 16 abaixo ilustra os batentes que causam esforços no eixo em função do peso da carga e do impacto direto no eixo do motor.

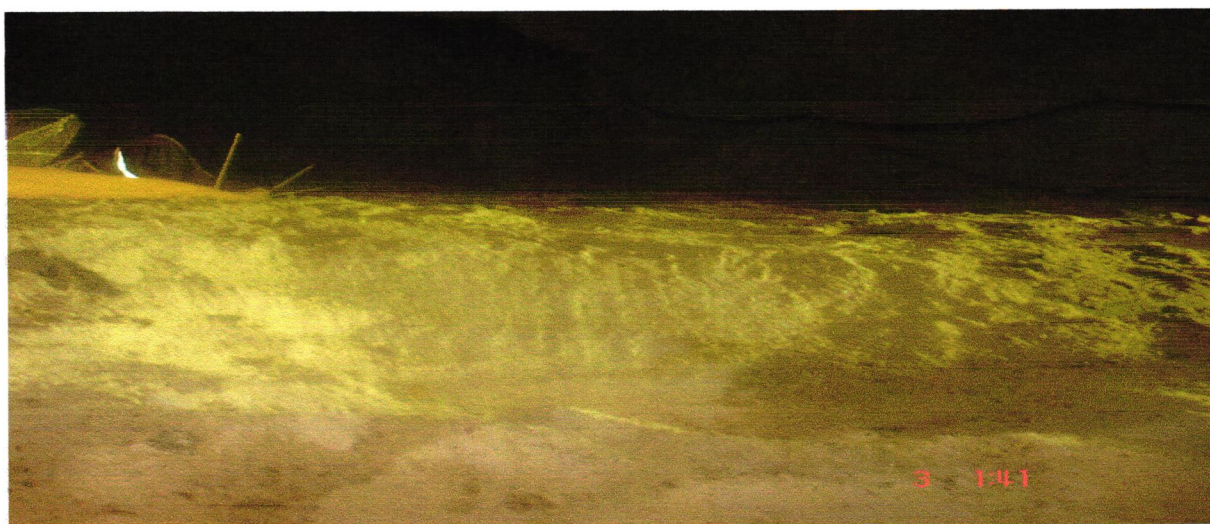


Figura 16 – Representa um batente no piso da galeria.
Fonte CVRD.

4) Inclinações Acentuadas das Galerias da Mina.

A Figura 17 abaixo mostra aspecto de trecho da mina com inclinação acentuada, o que provoca um esforço acima do tolerável, provocando a quebra do eixo.

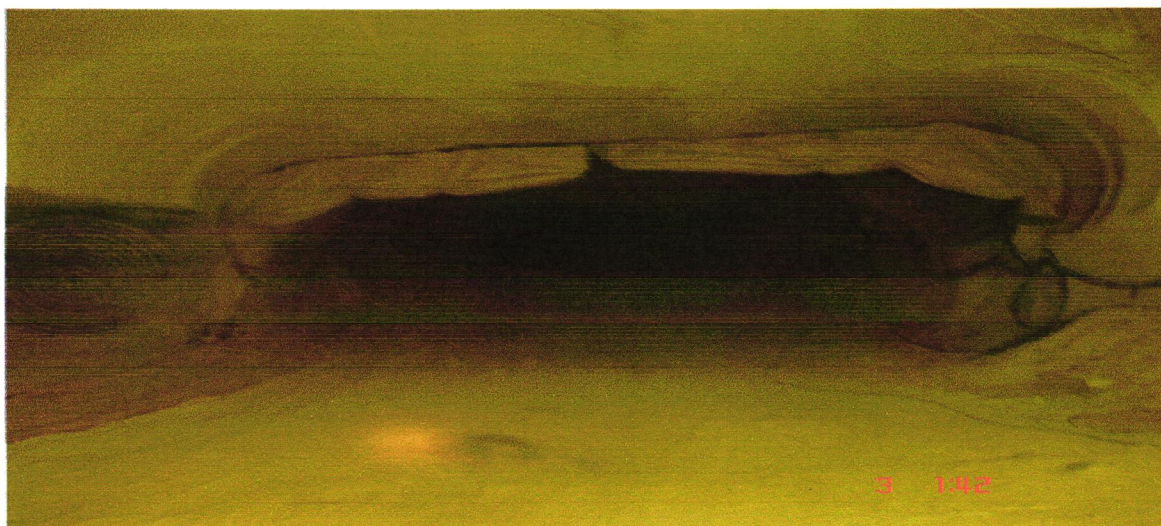


Figura 17 – Representa a inclinação acentuada do piso da galeria.
Fonte CVRD

5) Reversão do Motor de Tração.

A reversão dos motores ocorre devido à condição dos pedais de aceleração conforme a Figura 18, que são interligados por uma haste, ou seja, cada pedal se movimenta nos dois sentidos acionando o motor também nos sentidos de rotação, com essa prática o eixo do motor sofre um esforço contrario ao deslocamento do eixo ocasionando assim o rompimento do eixo do motor.



Figura 18 – Representa o pedal do acelerador, interligado por uma haste.
Fonte CVRD.

6) Troca dos Pneus Originais.

O pneu original ilustrado na Figura 19 foi substituído, por motivo de custo e disponibilidade no mercado. Com essa troca de pneus os níveis de vibrações no motor de tração aumentaram, causando folga nos componentes eixo e pinhão, assim como o surgimento de trincas no eixo do motor.

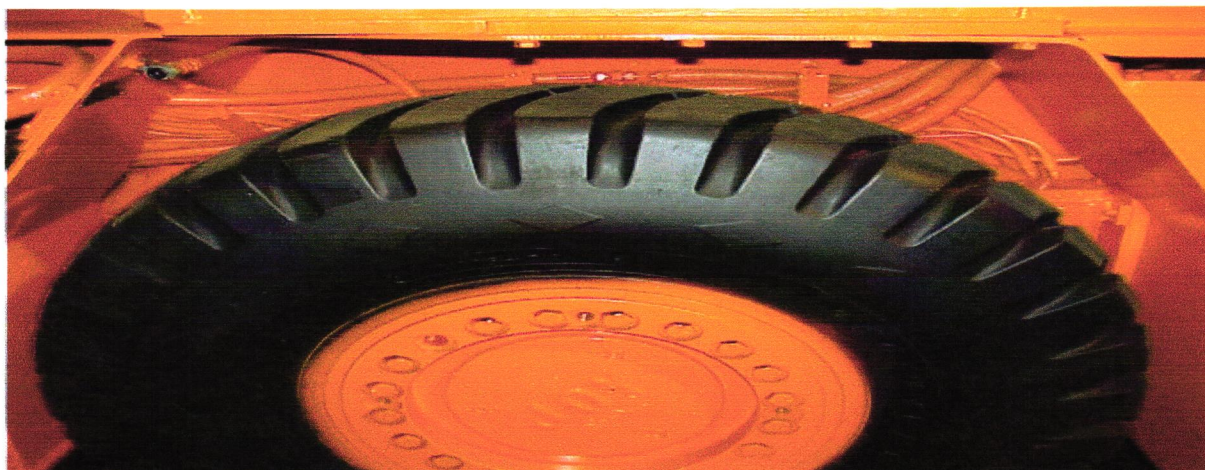


Figura 19 – Representa o pneu original do fabricante.
Fonte CVRD.

A Figura 20 abaixo, mostra os pneus após a melhoria e a Figura 21, mostra o uso de correntes nos pneus para aumentar a aderência no piso.



Figura 20 – Representa o pneu após a mudança.
Fonte CVRD.

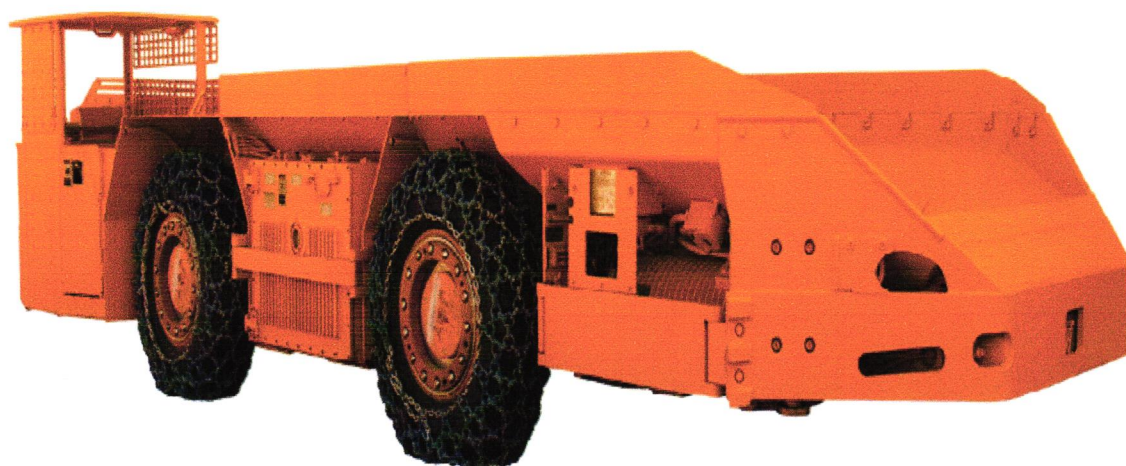


Figura 21 – Demonstra um tipo de pneu testado revestido por correntes.
Fonte CVRD.

7) Corrosão em Função do Contato com o KCl.

A corrosão dos componentes mecânicos que constituem o motor de tração foi um ponto abordado durante a formação do Ishikawa, que foi descartado em função da baixa umidade relativa da mina e da alta temperatura das rochas que minimiza a possibilidade de corrosão dos componentes, mesmo em contato direto com o KCl ou NaCl.

8) Fadiga do Componente Eixo do Motor.

Devido o motor ter o rolamento de rolos cilíndricos (absorve alta carga radial) e toda energia é concentrada no ressalto do eixo gerando a trinca de fadiga que pode provocar sua quebra prematura, visualizada na Figura 22 logo abaixo.

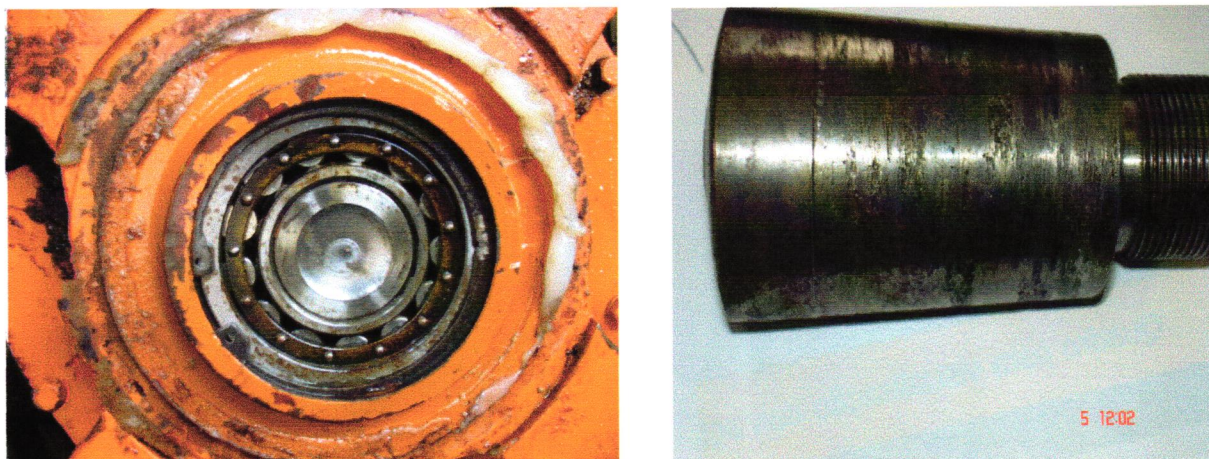


Figura 22 – Ilustra a quebra prematura do eixo por fadiga.
Fonte CVRD

4.3 Ações Executadas.

Com base no histórico de falhas e no Ishikawa apresentado, foram implantadas as seguintes ações:

- A)** Padronização da chaveta do motor de tração, conforme especificação do fabricante do equipamento;
- B)** Criado o procedimento de inspecionar e retirar os batentes do piso das galerias por onde o equipamento irá transitar;
- C)** Padronização das inclinações do piso das galerias em no máximo 20% ascendentes ou descendentes, conforme orientação do fabricante;

- D) Inclusão de mais um item de inspeção a ser executado durante as preventivas dos equipamentos, com relação às chavetas e aos pinhões dos motores de tração;
- E) Retorno da compra de pneus originais conforme determinação do fabricante.

4.4 Ações Propostas.

Em face das constantes quebras de componentes mecânicos dos motores de tração dos caminhões transportadores de minério e da conclusão da análise de falhas dos motores de tração, foram propostas as seguintes ações:

- A) Foi proposto ao grupo de melhorias da Vale, um estudo a fim de criar um dispositivo que informe ao operador, quando o caminhão transportador estiver carregado com as 15 toneladas que é a sua capacidade nominal, a fim de evitar o excesso de carga no equipamento;
- B) Incluir no procedimento de operação a retirada imediata de batentes no piso.
- C) Estudar a possibilidade de adaptar travas ao pneu, que facilite a aderência ao piso devido às condições escorregadias.
- D) Realizar um trabalho de informação junto aos operadores, mostrando o quando é prejudicial o excesso de carga no caminhão transportador e o que representa sua inoperância para a produção.

5 - CONCLUSÃO

A metodologia de análises de falhas é uma ferramenta indispensável à gestão de manutenção, pois através do processo de tratamento das falhas consegue-se bloquear a causa raiz das mesmas, proporcionando maior confiabilidade para a manutenção e melhor desempenho dos ativos. Sendo assim, observa-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, tendo em vista que os resultados apontaram as causas das falhas dos motores de tração dos caminhões transportadores, assim como foram criadas propostas e ações com a finalidade de produzir resultados expressivos, tanto qualitativos quanto quantitativos, e coloca o departamento de manutenção alinhado com as técnicas de gestão empresarial.

Após a implantação das ações discutidas durante o Braisntorming, onde foram levantadas as principais causas das falhas mais prováveis para quebra dos componentes dos motores de tração do caminhão transportador, pode-se observar um ganho considerável em relação ao aumento de disponibilidade do equipamento para produção do KCI. Pois ações como a padronização das chavetas do eixo do motor de tração; criação de novos procedimentos de operação e a retirada de batentes no piso das galerias possibilitou uma redução de custo de manutenção, pois quanto menos quebra ou se para o equipamento, menor será o custo com troca de peças, contribuindo assim para uma possível aumento de produção.

Verifica-se que as estratégias de manutenção necessitam serem questionadas a todo o momento e precisam ser aplicadas de acordo com a taxa de falha, pois o decréscimo da taxa afetara o atingimento de metas, repercutindo negativamente no crescimento e competitividade das organizações.

O modelo de gestão da manutenção adotada pela Companhia Vale, baseado em análise de falhas dos caminhões transportador, mostra-se bem consistente na busca de resultados para organização, indicando que a empresa possui uma visão diferenciada em busca de uma manutenção classe mundial.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, P.C.G. **Aplicação da Metodologia, de Análise e Solução de Problemas na Célula Lateral de uma Linha de Produção Automotiva**, Taubaté – SP 2004, Monografia bacharelado.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 2004.
- CARVALHO, W. D. de. **Modelo de Gestão dos Ciclos de Manutenção**: Dissertação para Mestrado. Rio de Janeiro, 2004.
- FILHO, A. B. **Utilização de Ferramentas de Confiabilidade em um Ambiente de Manufatura de Classe Mundial**: Dissertação para Mestrado. São Luis, 2000.
- GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.
- LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- MENEZES, Ivan Montenegro de; ALMEIDA, Magnus Lellis de. **Manual da Manutenção Industrial**. 1. ed. Minas Gerais: Lettragráfica Editora Ltda, 2002.
- MONCHY, Francois. **Função Manutenção - Formação Para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo: Editora Durban Ltda ed. 2005.
- MORETTI, Diego Carvalho de; BIGATO BrunoValente. **Aplicação do FMEA**:. Disponível em: <<http://www.nortegubisian.com.br/artigos/fmea.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2009 as 20:30.
- NASCIMENTO, Carlos Augusto do. **Gestão Estratégica de Manutenção, Engenharia de Manutenção**: Dissertação de Bacharelado. Aracaju, 2003.
- OLIVEIRA, Ricardo Policarpo, **Glossário Técnico Manutenção e Engenharia Industrial**, 2003.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Julio Aquino Nascif. **Manutenção Função Estratégica**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.
- SCAPIN, Carlos Alberto. **Análise Sistêmica de Falhas**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SEIXAS, E.S. **Análise de Falhas FMEA-FMECA**, apostila de treinamento da Abraman, Regional IV, Abril de 2005.

SILVA, Cassandra Ribeiro de O. **Metodologia e Organização do Projeto de Pesquisa**, CEFETCE Fortaleza 2004. Guia Prático.

TAVARES, Lourival Augusto. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo pólo publicações, 1999.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna da Manutenção 2002**. Disponível em: <http://internal.dstm.com.ar/sites/libro/lourival/default.asp>. Acesso em 01/02/2009 20h15min

TORRES, Leandro Daniel, **Mantenimiento Su implementación y gestión**, 2 ed, Argentina: Editora Universitas, 2005.

XENOS, Harilaus. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, Belo Horizonte: editora de desenvolvimento gerencial, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE

APÊNDICE A - Shuttle-car – Caminhão transportador de minério, movido a motores elétricos 900 v e pesa aproximadamente 18 toneladas, com capacidade nominal de carga de 15 ton.

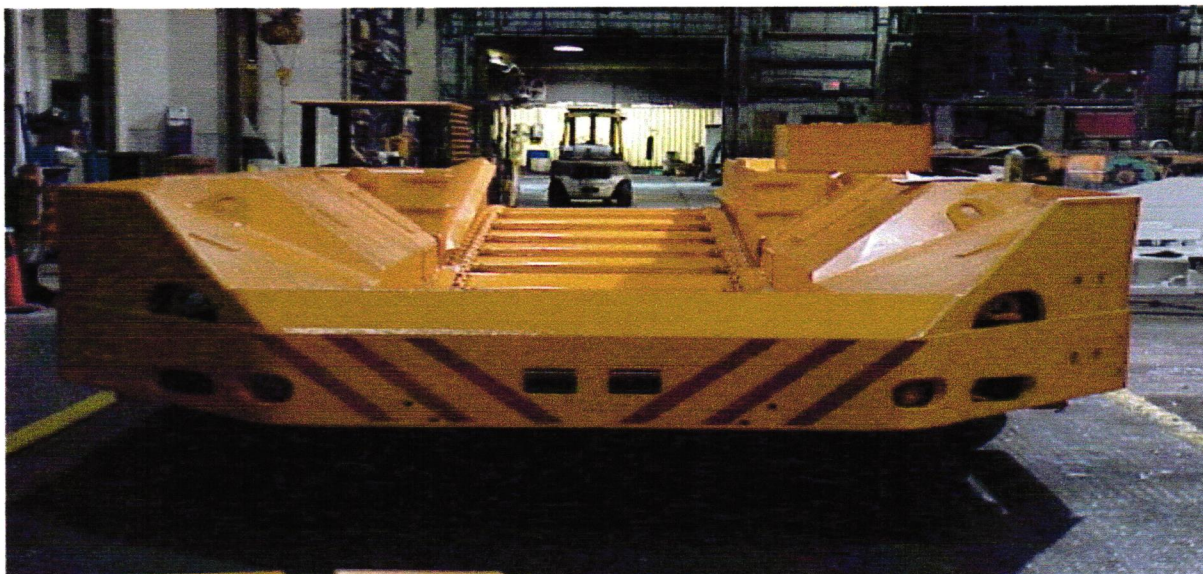


Figura 23 - Representa o caminhão transportador de minério.
Fonte: CVRD

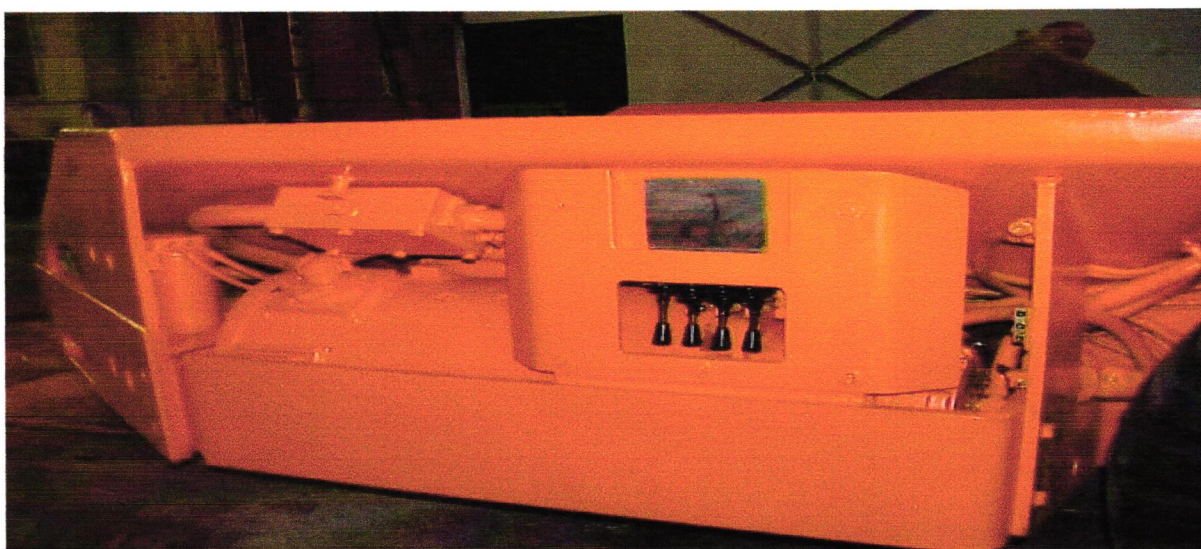


Figura 24 - Mostra a posição do motor de tração no Shuttle-Car.
Fonte: CVRD

ANEXO

ANEXO

Anexo A – Registro de Análise e Tratamento de Falhas.



**Companhia
Vale do Rio Doce**

	COMAT - Coordenadoria de Implantação do SGM	ProAtivo	
Título: REGISTRO, ANÁLISE E TRATAMENTO DE FALHA (Pré-Sistema)		Id: RG-00003 COMAT	Pág.: 3/6
		Cód. Trein:	Rev: 00 - 18/12/08

Análise Básica do Problema

SGM

Já houve problema semelhante? ☒ Sim* ☐ Não

O problema apresentou sintomas anteriores? ☐ Sim ☒ Não

O equipamento possui plano de inspeção cadastrado? ☒ Sim ☐ Não ☐ Não se aplica

Quem realizou a última inspeção PTV-LAVINSP Quando foi realizada? 21/11/2008

Estava atrasada? ☐ Sim ☒ Não

Foi detectada alguma anomalia? ☐ Sim ☒ Não

Estava registrada no book de inspeção assinada pelo supervisor? ☐ Sim ☐ Não

O plano necessita ser revisado (periodicidade, escopo, etc)? ☒ Sim ☐ Não

Existe Plano de Manutenção para o local do defeito? ☒ Sim ☐ Não ☐ Não se aplica Código do Plano: PTVLAVMSC0001

Quando foi realizada a última MP? 24/11/2008

Estava atrasada? ☐ Sim ☒ Não

O plano necessita ser revisado (periodicidade, escopo, etc)? ☒ Sim ☐ Não Adicionar a verificação do local ao plano de preventiva

Existe Plano de Preditiva para o local do defeito? ☒ Sim ☐ Não ☐ Não se aplica Código do Plano: PTVLAVGSC0001

Quando foi realizada a última Inspeção? 10/11/2008 OS encerrada com a observação de que não foi executada, máquina com vazamento de óleo

Estava atrasada? ☐ Sim ☒ Não

Foi detectada alguma anomalia? ☐ Sim ☒ Não OS encerrada com a observação de que não foi executada, máquina com vazamento de óleo

O plano necessita ser revisado (periodicidade, escopo, etc)? ☐ Sim ☒ Não

Houve parada de produção? ☒ Sim ☐ Não

Informar perda produtiva (volume e produto): _____

Informar prejuízo da quebra (Valores e moeda): _____

* Informar quando, onde, e outras informações relevantes

O SC08 apresentou a mesma falha mas com modo de falha diferente, quebrou a chaveta e engrenagem motris dia 12/01/2008.

1- O plano de inspeção não apresenta nenhuma atividade que possa ter prevenido a falha, o plano de preventiva não solicita nenhum tipo de inspeção e/ou verificação do engrenamento entre a engrenagem do motor e a do redutor 2- Houve dificuldades pela equipe de manutenção em remover o motor danificado e instalar o motor recuperado em virtude da falta de LHD's e ferramentas consideradas específicas para esta atividade. 3- De acordo com o relato do operador Jorge no turno A do dia 29/12/2008, o painel apresenta um grade (inclinação) de 22 a 25%, de acordo com uma consulta aos manuais da máquina, a sua especificação diz que a máquina está preparada para rodar com inclinações de até 20% mantendo sua performance operacional. 4- Analisando a função tração, observou-se que o pinhão (engrenagem) do motor de tração está exposto as solitação no momento de tração e, fato novo, frengagem, aumentando as solitações na ponta de eixo, chaveta e engrenagem por cargas cíclicas. 5- A chaveta apresenta características de que sofreu esforços a ponto de se deformar, indícios de grandes esforços ou material da chaveta inadequado.

Fonte: CVRD