

O USO DA ANÁLISE DE FALHA COMO FERRAMENTA DE REDUÇÃO DE CUSTO EM CAMINHÕES FORA DE ESTRADA*

Elifas Levi da Silvar¹
Paulo Roberto Dutra Nogueira²
Guilherme Sousa Melo³
Ladir Antunes Teles⁴
Silvio Diniz Souza⁵

Resumo

O surgimento de novas tecnologias tem possibilitado a melhoria dos processos produtivos, exigindo a busca pela excelência na forma de planejar, desenvolver, produzir e manter seus equipamentos. A falha leva a um alto custo de produção, baixa confiabilidade e disponibilidade e tem um impacto direto no desempenho da empresa. A tratativa de falhas impacta diretamente no retorno financeiro da empresa. A análise dos custos de manutenção indica que um reparo realizado no modo corretivo-reativo terá em média um custo cerca de 3 vezes maior que quando o mesmo reparo for feito dentro de um modo programado ou preventivo. Este trabalho possui como objetivo a análise de falhas de componentes de caminhões fora de estrada de modo a identificar os principais mecanismos de falhas que atuam no equipamento aumentando o custo de manutenção e restringindo sua confiabilidade. Realizaram-se ações de melhorias para eliminação ou redução destes modos de falhas. Após a implantação destas ações observou-se uma redução do custo de manutenção para os componentes estudados.

Palavras-chave: Análise de Falha; Custo Manutenção; Transmissão, Tomada de Força.

THE USE OF FAULT ANALYSIS AS A COST REDUCTION TOOL ON OFF-ROAD TRUCKS

Abstract

The emergence of new technologies has made it possible to improve production processes, demanding the search for excellence in the way of planning, developing, producing and maintaining equipment. Failure leads to high production costs, low reliability and availability, and has a direct impact on the company's performance. The management of failures directly impacts the financial return of the company. The analysis of maintenance costs indicates that a repair performed in the corrective-reactive mode will have on average a cost about 3 times greater than when the same repair is done in a programmed or preventive mode. This work aims to analyze the faults of components of off-road trucks in order to identify the main fault mechanisms that act on the equipment, increasing the cost of maintenance and restricting its reliability. Improvements were made to eliminate or reduce these modes of failure. After the implementation of these actions, a reduction of the maintenance cost for the studied components was observed.

Keywords: Failure Analysis; Cost Maintenance; Transmission, Power Take-off.

¹ Engenheiro de produção (UIT), Mestre em Engenharia Mecânica, Engenheiro de Manutenção, Gerência Geral de Operações, Mineração Usiminas SA, Itatiaiuçu, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheiro Elétrico (UFJF), MBA em Gestão Empresarial (FGV), Gerente de Manutenção de Equipamentos, Gerência Geral de Operações, Mineração Usiminas SA, Itatiaiuçu, Minas Gerais, Brasil.

³ Engenheiro de Minas (UFMG), Especialista em Avaliação Econômica de Projetos Minerários (Escola de Minas de Paris/França), Especialização em gestão de negócios (FDC), Gerente Geral de Operações, Diretoria Executiva, Mineração Usiminas SA, Itatiaiuçu, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Gestor Ambiental (UIT), Supervisor de Manutenção, Gerência Geral de Operações, Mineração Usiminas SA, Itatiaiuçu, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Engenharia Mecânica (UFMG), Especialista em Gestão de Projetos (FDC), especialista em engenharia de manutenção, Gerência Geral de Operações, Mineração Usiminas SA, Itatiaiuçu, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O ambiente de competitividade, ocasionado pela globalização impõe as empresas um compromisso contínuo com o aperfeiçoamento de seus processos. As ineficiências não podem mais ser repassadas aos clientes. Assim, a implantação de sistemas de gestão eficazes é uma necessidade imposta pelo mercado.

O surgimento de novas tecnologias tem possibilitado a melhoria dos processos produtivos, para acompanhar esse processo de desenvolvimento vivenciado pelas empresas faz se necessário a busca pela excelência na forma de planejar, desenvolver, produzir e manter seus equipamentos.

As minerações investem anualmente fundos significativos para a compra de equipamentos móveis pesados, dada a enorme despesa envolvida na aquisição, operação e manutenção de equipamentos móveis, é vital que as empresas otimize suas estratégias de manutenção de modo a detectar e eliminar os modos de falhas de seus ativos proporcionando uma maior retorno para o seu negócio.

A falha leva a um alto custo de produção, baixa confiabilidade e disponibilidade tendo um impacto direto no desempenho da empresa.

A tratativa de falhas impacta diretamente no retorno financeiro da empresa. Os resultados podem abranger todas as áreas industriais aumentando a confiabilidade do serviço prestado e proporcionando mais segurança e maior satisfação do usuário dos serviços.

Um processo de desgaste quando não identificado prematuramente poderá provocar a quebra da peça comprometendo todos os sistemas em contato, refletindo diretamente no custo de reparo do componente. A análise dos custos de manutenção indica que um reparo realizado no modo corretivo terá em média um custo cerca de 3 vezes maior que quando o mesmo reparo for feito dentro de um modo programado ou preventivo (ALMEIDA, 2000 [1]).

Para os caminhões fora de estrada o impacto dos modos de falhas poderá provocar sérios problemas para a mineração em estudo, visto que toda a movimentação de ROM (*Run of Mine*) extraído da mina até a instalação de tratamento de minério (ITM) é realizado por esses caminhões. Portanto a ocorrência de falhas poderá comprometer a alimentação da ITM impactando diretamente na produção de minério de ferro, refletindo no resultado financeiro da organização.

Este trabalho possui como objetivo a análise de falhas de componentes de um grupo de 14 caminhões fora de estrada de 100 toneladas de modo a identificar os principais mecanismos de falhas que atuam nestes componentes aumentando o custo de manutenção e restringindo sua confiabilidade.

A análise de falha será realizada através da aplicação de ferramentas tais como Gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa e FMEA (Análise do modo e efeito de falhas), de forma a apoiar na identificação, análise e solução das falhas potenciais que estão atuando sobre os componentes dos equipamentos, reduzindo assim o custo de manutenção destes.

2 ANÁLISE DE FALHAS

As falhas consistem na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada a atender o seu propósito específico. O estado de um item é a condição existente antes da ocorrência da falha e após a falha (SIQUEIRA, 2009 [2]).

Os estados de um item podem ser classificados como estado de indisponibilidade ou estado de disponibilidade. O estado de indisponibilidade é caracterizado pela ocorrência de uma pane, incapacidade temporária ou permanente. Já o estado de disponibilidade é caracterizado pelo desempenho da função requerida, do funcionamento do equipamento (TAKAIAMA, 2008 [3]).

Falha é a cessação de funções ou bom desempenho. O objetivo de uma organização da manutenção eficaz é promover um sistema de desempenho a baixo custo. Isto significa que a manutenção adequada deve basear-se numa clara compreensão das falhas em cada um dos níveis do sistema. Os componentes de um sistema podem ser degradados ou até mesmo apresentar falhas, e mesmo assim não causar uma falha do sistema. (Um exemplo simples é a falha em um farol de automóvel. Este componente tem pouco efeito sobre o desempenho global do sistema). Inversamente, a degradação de vários componentes pode causar a falha de um sistema, embora não exista falha de nenhum componente individual (NASA, 2000 [4]).

Segundo Ruchert (2014 [5]) as falhas em componentes podem ser provocadas por alguns fatores conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1.Fatores que provocam falhas em componentes
Fonte: Ruchert (2014)

As falhas de projeto ocorrem quando o projetista não consegue identificar claramente as necessidades do cliente ou quando estas não estão adequadamente identificadas e não consegue aplicar os requisitos de engenharia corretos para a aplicação ou não possui sistema capaz de modelar o projeto (AFONSO, 2006 [6]).

A falha de operação refere-se a uma subclasse da falha humana, no âmbito da operação. A falha humana significa que ocorreu uma falha no sistema e que foi causada ou teve contribuição de seres humanos. A falha pode ser de um grupo, organização ou apenas de um indivíduo (FIGUEIRÔA, 2004 [7]). Na abordagem sobre Falha Humana, importante que seja abandonada a abordagem tradicional que indica que a mesma ocorreu devido a negligência, falta de compromisso e não observação de regras ou procedimentos (LAFRAIA, 2001[8]). Esta cultura tenta corrigir o problema através do terror e do medo, prejudicando o clima organizacional da empresa. Os funcionários não se sentirão à vontade para participar aos seus superiores de problemas existentes, sob o risco de ser imputado aos mesmos responsabilidade sobre alguns destes problemas. Uma visão mais adequada à Falha

Humana relata que os erros acontecem devido a uma complexa relação entre diversos fatores. O ambiente indutor ao erro pode resultar da sobrecarga de trabalho ou de informações, procedimentos ou instruções inadequadas, treinamento inadequado ou mesmo baixa motivação do operador. A tendência inevitável ao erro origina-se da capacidade limitada da memória humana, do limite no processamento de informações e/ou na dependência de regras específicas para a execução da tarefa.

Manutenção inadequada refere-se ao uso do equipamento sem monitoração, inspeção e manutenção por falta de instrução do fabricante ou de treinamento do cliente na utilização (CASTRO E MEGGIOLATO, 2011 [9]).

Falhas de fabricação são falhas referentes a componentes montados incorretamente. Nessa situação pode ocorrer o aparecimento de trincas, inclusões, concentração de tensões, contatos imperfeitos, folgas exageradas ou insuficientes, empeno ou exposição de peças a tensões não previstas no projeto (TELECURSO, 2000 [10]).

2.1 Ferramentas Aplicadas a Análise de Falha

As ferramentas de análise de falhas visam detectar todas as possíveis falhas nos processos de execução e, para cada falha específica, todas as possíveis combinações de eventos que possam ocasioná-la. Em função disso, é necessário que as equipes de trabalho tenham grande domínio técnico do tema objeto de análise. A presença de pessoas de diferentes posições no organograma da empresa, bem como a inclusão de especialistas em diversas áreas e, em não poucos casos, dos próprios consumidores finais dos produtos, garante que a análise seja feita sob vários ângulos, havendo uma sinergia entre as contribuições apresentadas por esses especialistas (CARVALHO e ANDERY, 1999 [11]).

O Gráfico de Pareto constitui uma das ferramentas que poderão ser utilizadas para avaliação de falhas em equipamentos. Segundo Carvalho e Paladini (2012 [12]), o Gráfico de Pareto é uma técnica utilizada para identificar problemas ou causas, definindo quais os itens que causam o maior impacto nos efeitos, ou seja, evidencia os aspectos essenciais de um problema, identificando quais devem receber maior atenção em busca de soluções. De acordo com Werkema (2001 [13]), o princípio de Pareto sugere que 80% dos problemas provem de 20% das causas, mais conhecido popularmente como regra do 80/20.

O Diagrama de Causa e Efeito também conhecido como Diagrama de Ishikawa, é uma ferramenta da qualidade que ajuda a levantar as causas-raízes de um problema, analisando todos os fatores que envolvem a execução do processo. Na metodologia, todo problema tem causas específicas, e essas causas devem ser analisadas e testadas, uma a uma, a fim de comprovar qual delas está realmente causando o efeito (problema) que se quer eliminar. Eliminado as causas, elimina-se o problema. O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta prática, muito utilizada para realizar a análise das causas-raízes em avaliações de não conformidades (BASTIANI E MARTINS, 2012 [14]).

A Análise de Modos de Falhas e Efeito – FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), é um método estruturado que permite prevenir falhas e analisar riscos e a criticidade de um processo ou de seus eventos, por meio da identificação de causas, efeito e da utilização de mecanismos para inibir as falhas. Ao ser utilizada a análise, tem-se uma visão geral, apontando os modos de

falha, suas causas e efeitos, sendo estabelecido ações preventivas no processo ao invés de ações corretivas. (RODRIGUES, 2014)

Werkema (2012) afirma que o FMEA é constituído de uma tabela em que se relacionam os componentes e suas funções com suas possíveis falhas, as causas da falha e seus efeitos além do impacto desta falha no cliente. Além disso, há três índices que devem ser usados valores tabelados importantes no FMEA. Estes valores permitem hierarquizar as falhas por meio do índice de criticidade (RPN). O primeiro o índice é o de gravidade do efeito (G), como sendo a probabilidade de um cliente identificar o efeito da causa. Segundo, o índice da ocorrência da causa (O) que é probabilidade de uma causa existir e provocar uma falhar. O terceiro é o índice detecção da falha (D) que é a probabilidade de a falha ser identificada antes do produto chegar ao cliente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo iniciou-se pela projeção dos componentes de maior custo no ano de 2016 de um grupo de 14 caminhões fora de estrada de 100 toneladas. A Figura 1 ilustra os custos de manutenção dos principais componentes deste grupo de equipamentos. O item com maior custo em 2016 foi pneu, mas devido à existência de um comitê criado em 2016 específico para este item, não foi estudado este item. Desconsiderou também o componente radiador, redutor e diferencial, pois já existiam ações que estavam sendo feito para aumentar a confiabilidade e consequentemente reduzir o custo.

Portanto a análise de falha com o objetivo de redução de custo foi realizada nos componentes, transmissão e tomada de força, junto esses componentes representam 11% do custo de manutenção de 2016.

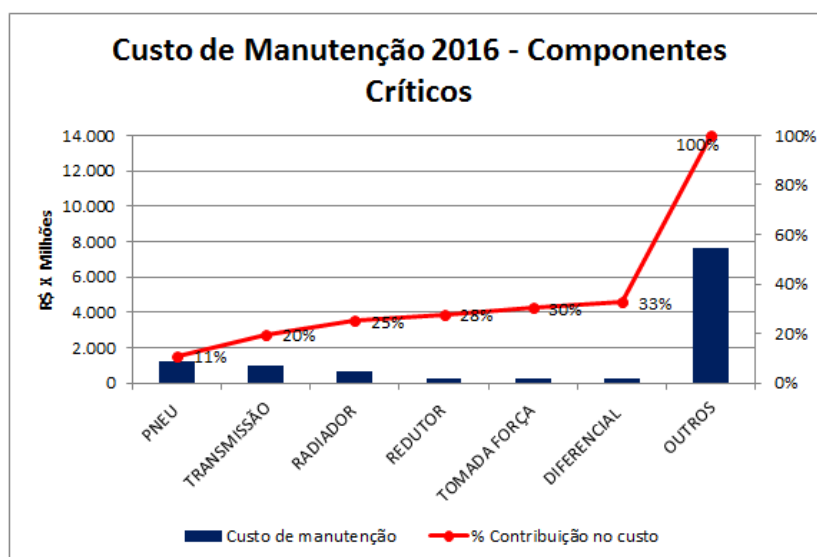


Figura 2. Diagrama de Perto dos Custos de manutenção caminhões fora de estrada

3.1 Análises da Transmissão e Tomada de Força

Os componentes transmissão e tomada de força (PTO) foram analisados em conjunto pelo fato de estarem em contato no equipamento sofrendo interferência em suas operações.

A transmissão possui como função transferir para as rodas a potência gerada pelo motor (energia mecânica). Ao alterar a marcha engata-se o par de engrenagens proporcionando a redução mais conveniente entre o regime de rotação do motor e das rodas. A tomada de força equivale a uma conexão que transmite a energia mecânica da transmissão para as bombas hidráulicas (direção e basculamento) do caminhão. A tomada de força está acoplada a transmissão do equipamento proporcionando o contato de sua engrenagem com a engrenagem da transmissão, a força rotacional da transmissão é utilizada para acionar as bombas de direção e hidráulica, responsáveis pelo trabalho dos cilindros de direção e de basculamento do equipamento. A Figura 3 ilustra o posicionamento da transmissão e da tomada de força do equipamento.

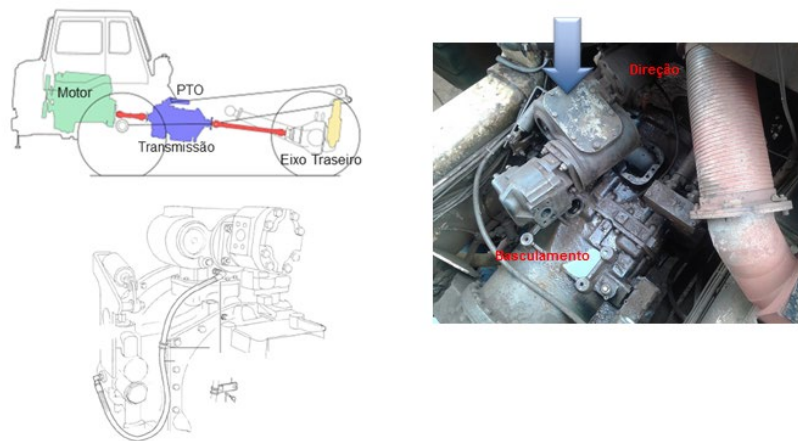


Figura 3. Posicionamento da tomada de força no caminhão fora de estrada

A quebra da tomada de força poderá comprometer a transmissão por estarem em contato. Com base no escopo de reforma destes componentes, levantaram-se as principais causas que estavam provocando a quebra da tomada de força e transmissão. A Figura 4 ilustra o Diagrama de Causa e Efeito construído para análise, levantou-se 9 causas que poderão estar contribuindo para o aumento de custo de reforma.

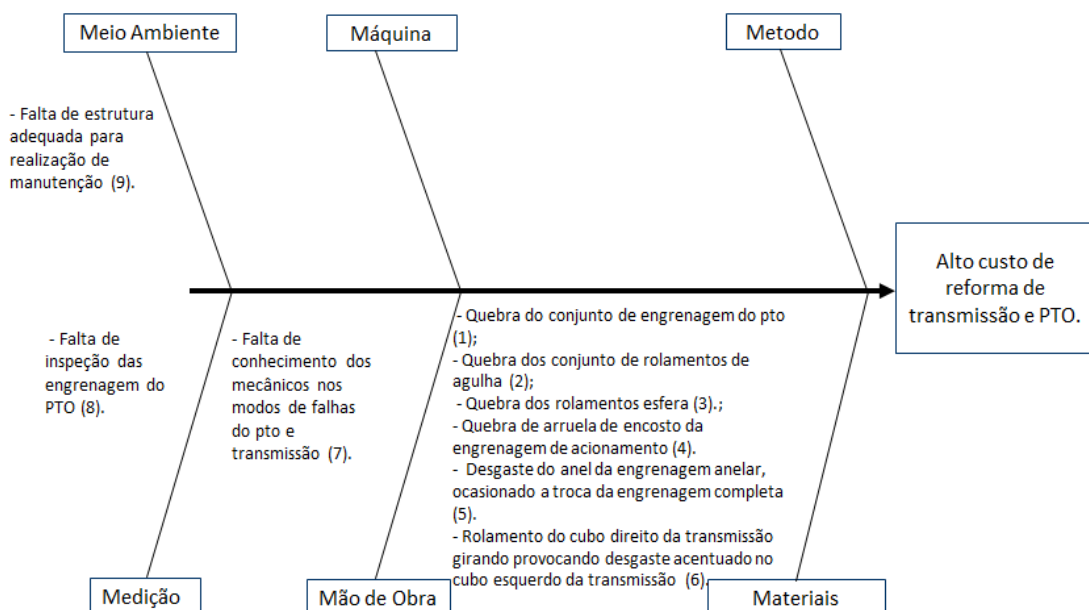


Figura 4. Diagrama de Causa e Efeito da Tomada de Força e Transmissão

Para melhor entendimento dos modos de falhas realizou um estudo detalhado dos modos de falhas levantados no Diagrama de Causa e Efeito.

Realizou-se uma análise do conjunto de engrenagem da tomada de força (item 1 do diagrama de causa e efeito) verificando-se que a engrenagem existente possuía um acabamento superficial deficiente o que lhe proporcionava maior desgaste/atrito. Para tratativa deste modo de falha projetou-se uma engrenagem reforçada com acabamento superficial feito em retificada. A Figura 5 ilustra a engrenagem original do sistema (A) e a nova engrenagem projetada (B). A quebra desta engrenagem faz com que partes da mesma sejam conduzidas para a transmissão provocando a quebra ou desgaste acelerado da transmissão que possui um alto custo de reforma.



Figura 5. Conjunto de engrenagem da tomada de força

Alterou-se também o tempo de inspeção da engrenagem da tomada de força (item 8 do diagrama de causa e efeito) de 500 horas para 250 horas de operação. Essas ações implementadas na engrenagem da tomada de força propiciou uma redução significativa no seu índice de quebra.

A análise de falha do conjunto rolamento de agulha da tomada de força (item 2 do diagrama de causa e efeito) demonstrou uma falha de projeto que está subdimensionado para a carga que recebe. Para resolução deste modo de falha foi proposto pela equipe de manutenção a substituição deste rolamento por outro que suporte uma carga maior. A Figura 6 ilustra o novo rolamento que está sendo utilizado na tomada de força.

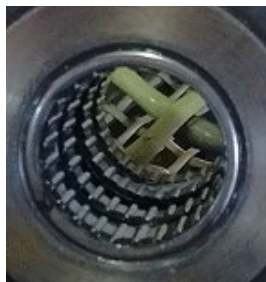


Figura 6. Conjunto rolamento de agulha da tomada de força

Após a substituição do rolamento de agulha por um que suporte uma carga maior observou-se uma redução significativa no número de quebra deste item.

A quebra do rolamento de esfera da tomada de força (item 3 do diagrama de causa e efeito) era provocada pela folga mal dimensionada do rolamento, que não compensava a variação de temperatura dos anéis internos e externos. Esse aumento de temperatura gerava a quebra dos anéis internos e externos que refletia na falha do rolamento e conseqüentemente a quebra da tomada de força. Uma vez a tomada de força quebrada a transmissão era contaminada através do contato existente entre os dois componentes. A solução deste modo de falha ocorreu pela alteração do rolamento de esfera, especificou-se um rolamento que possuía uma

folga maior (C3), a folga anterior era normal. A Figura 7 ilustra os parâmetros de um rolamento com folga normal e C3.

Classe de folga ISO	Sufixo de designação SKF	Folga interna
-	C1	Menor que C2
Grupo 2	C2	Menor que Normal
Grupo N	-	Normal
Grupo 3	C3	Maior que Normal
Grupo 4	C4	Maior que C3
Grupo 5	C5	Maior que C4

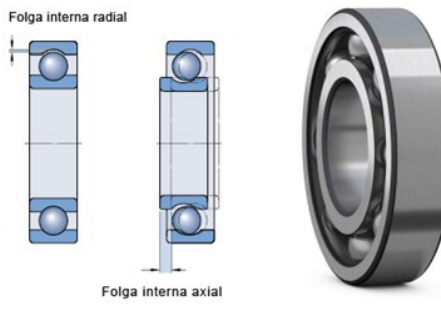


Figura 7. Folha interna de rolamentos de esfera
Fonte: SKF, 2018

A quebra da arruela de encosto da engrenagem de acionamento da tomada de força (item 4 do diagrama de causa e efeito) se dava pelo fato da baixa resiliência do material utilizado, a equipe de manutenção alterou o material de aço para bronze, o que resulta maior resiliência.

O desgaste do anel da engrenagem anelar da transmissão (item 5 do diagrama de causa e efeito) gerava um grande impacto no custo de reparo, visto que o fabricante da engrenagem não comercializava o anel separadamente o que obrigava a empresa a trocar a engrenagem simplesmente pelo fato do desgaste do anel. Através de uma parceria com um centro de pesquisa foi possível especificar o material e as propriedades mecânicas do anel fornecendo condição de fabricá-lo na região. O anel desenvolvido possui um custo 20 vezes menor do que o custo de aquisição de uma nova engrenagem, gerando uma economia uma vez que não se troca a engrenagem somente pelo desgaste do anel. A Figura 8 ilustra o anel desenvolvido.



Figura 8. Anel da engrenagem anelar da transmissão

Observaram-se também nos modos de falhas da transmissão que o rolamento do cubo direito estava girando provocando desgaste acentuado no cubo esquerdo, o que gerava perda dos cubos da transmissão durante a reforma, componente de alto custo. A eliminação deste mecanismo de falha (item 6 do diagrama de causa e efeito) se deu pela fixação do rolamento no eixo com adesivo especial (cola metálica) em todas as transmissões reformadas, impedindo que o rolamento gire danificando o cubo prematuramente. Esta ação mostrou-se eficiente de modo que todas as transmissões reformadas não apresentou desgaste no cubo provocado pelo movimento do rolamento.

Com o objetivo de melhorar o conhecimento da equipe de manutenção (item 7 do diagrama de causa e efeito) realizou-se o treinamento *onthejob* que proporciona os funcionários aprimorar o conhecimento na realização da própria tarefa,

proporcionando aos funcionários que acompanhasse as manutenções neste sistema de modo a aprender com as ocorrências.

Realizou a adequação de uma área para montagem e desmontagem de tomadas de força e pequenas intervenções nas transmissões (item 9 do diagrama de causa e efeito), visto que intervenções de médio e grande porte em transmissões são realizadas por terceiros devido a necessidade de ferramental apropriado. A área de manutenção proporcionou a equipe uma redução no custo de reforma dos componentes, visto que reformas internas são mais baratas que as externas. Também proporcionou um local para melhorar a capacitação técnica da equipe através do uso da técnica *onthejob*.

A análise das falhas na transmissão e tomada de força, já detalhada anteriormente, foi realizada com o auxílio da ferramenta FMEA. O FMEA teve como objetivo identificar os potenciais modos de falha da transmissão e da tomada de força, de forma a avaliar o risco associado a estes, para que sejam classificados em termos de importância e então receber ações com o intuito de diminuir a incidência de falhas. Ele foi crucial para desenvolvimento do estudo, os dados levantados anteriormente sobre os modos e mecanismo de falhas, somente foram possíveis devido a uso do FMEA, estruturando a maneira de pesquisar as falhas. A prioridade na execução das ações seguiu o índice de RPN do FMEA. A Figura 9 ilustra uma parte do FMEA construído para análise dos modos de falhas dos componentes em estudo.

FMEA - ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS										
Nº	COMPONENTE	FALHA MODO DE FALHA POTENCIAL	CAUSA CAUSA (S) POTENCIAL DA FALHA	OCORRÊNCIA	EFEITO EFEITO (S) DA FALHA EM POTENCIAL	SEVERIDADE	CONTROLE ATUAL DE DETECÇÃO	DETECÇÃO	RISCO (RPN)	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
1	Tomada de força	Quebra do conjunto de engrenagem	Baixa qualidade superficial da engrenagem	6	Quebra do tomada de força e transmissão	8	Ausência	5	240	Inclusão do processo de retifica na fabricação da engrenagem dupla
2		Quebra dos conjunto de rolamentos de	Subdimensionamento do rolamento de agulha	5	Quebra do tomada de força e transmissão	6	Ausência	5	150	Dimensionamento de um rolamento de agulha que suporta maior carga
3		Quebra dos rolamentos esfera	Folga do rolamento insuficiente para compensar variação de temperatura e expansão dos anéis internos e externos	5	Quebra do tomada de força e transmissão	5	Ausência	5	125	Dimensionamento da folga do rolamento de esfera de normal para folga C3

Figura 9. FMEA construído para tomada de força e transmissão

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos modos de falhas da transmissão e da tomada de força possibilitou o conhecimento das causas de falhas destes componentes, possibilitando focalizar as ações de melhorias permitindo maior eficiência e eficácia nos resultados o que refletiu no custo de manutenção.

Após a implantação das ações de melhorias na tomada de força, observou uma redução de 15% no custo de manutenção deste componente em 2017 e uma projeção de redução de 67% em 2018 comparando com 2017, conforme ilustrado na Figura 10. Nas tomadas de força que foram reformadas após melhoria nenhuma falhou prematuramente, as falhas foram apenas por vida útil.

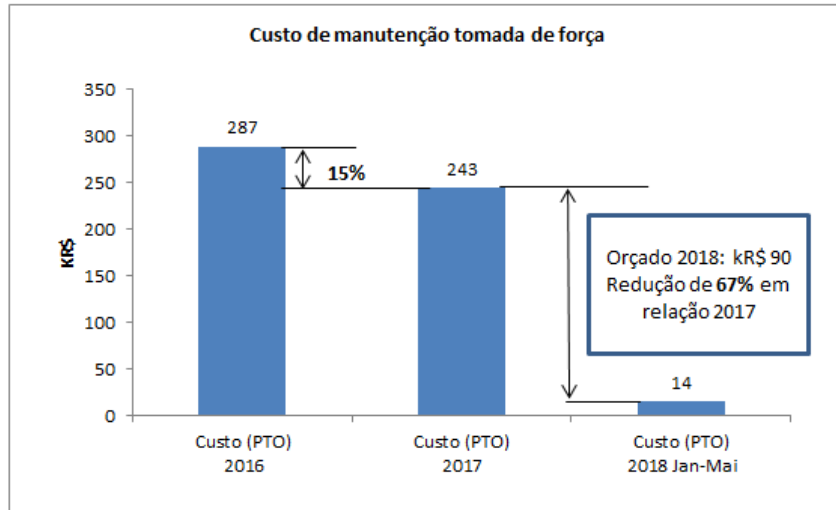


Figura 10. Ganho real e previsto no componente tomada de força

Para a transmissão após implementação das ações para eliminação dos modos de falhas identificados no FMEA, não falhou nenhuma transmissão por esses modos, ou seja, pela quebra da tomada de força, pela troca do cubo da transmissão devido ao movimento do rolamento desgastando o cubo ou para troca da engrenagem anelar devido ao desgaste do anel. A Figura 11 ilustra os resultados encontrados para esse componente.

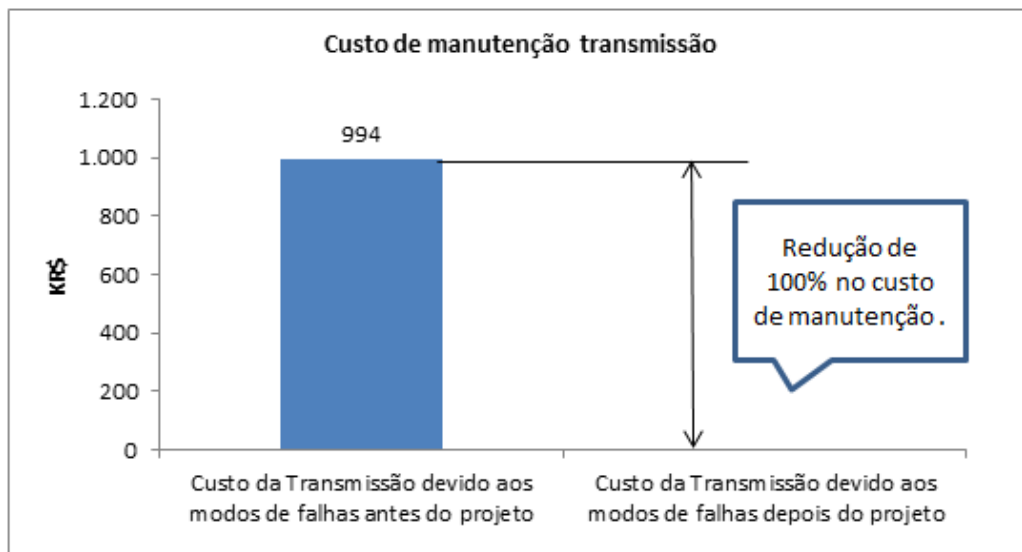


Figura 11. Ganho real no componente transmissão

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o presente trabalho obteve êxito na sua realização tornando a empresa mais competitiva, pois reduziu o custo de manutenção da tomada de força em 15% em 2017 com uma projeção de redução de custo 67% em 2018.

Para a transmissão observou-se a eliminação dos custos de manutenção prematuros para os modos de falhas estudados.

Um dos pontos fortes deste trabalho foi integração de equipes multifuncionais da área de manutenção, o que proporcionou um resultado sólido que se mantém ao longo do tempo.

Por fim recomenda-se o constante aprimoramento da gestão deste ativo, pelo seu alto custo e visto que melhorias contínuas sempre poderão ser realizadas a fim de manter o processo sobre controle com ações de acompanhamento eficiente e eficazes.

Agradecimentos

Agradecemos a gerência geral de operação e toda a equipe da Mineração Usiminas pelo incentivo constante ao ócio criativo na organização e realização de Seminários Técnicos, Workshops, fomentado nos funcionários a realização de inovação na melhoria de processos e métodos.

REFERÊNCIAS

- 1 ALMEIDA, M. T. Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade. 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em 06 out. 2011.
- 2 SIQUEIRA, I. P.; Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação. Editora QualityMark. 1ª ed., 2009.
- 3 TAKAIAMA, M. A. S. Análise de Falhas Aplicada ao Planejamento Estratégico da Manutenção. 2008. 57f. Dissertação (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- 4 NASA – National Aeronautics And Space Administration. RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT. 2000.
- 5 RUCHERT, Cassius. Princípios de Análise de Falhas em Componentes. São Paulo: Usp, 2014. 106 slides, color. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/225646/mod_resource/content/1/Curso Analise de Falhas V4.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/225646/mod_resource/content/1/Curso_Analise_de_Falhas_V4.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- 6 AFFONSO, L. O. A.; Equipamentos Mecânicos: Análise de Falhas e Solução de Problema. 2ª ed., Rio de Janeiro:Qualitymark, 2006.
- 7 FIGUEIRÔA FILHO, C.L.S; As Falhas Humanas na Manutenção. Tópicos Especiais em Manutenção. Notas de aulas do curso Gestão em Manutenção, UNIFACS, Salvador, 2004.
- 8 LAFRAIA, JOÃO RICARDO B. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2001.
- 9 CASTRO, J. T. P.; MEGGIOLATO, M. A.; Fadiga:Técnicas e Práticas de Dimensionamento Estrutural sob Cargas Reais de Serviço. 1ª.ed., Estados Unidos da América, Ed. CreateSpace, 2011, 578 p.
- 10 TELECURSO 2000 (São Paulo) (Org.). Origem dos danos: : AULA 13. In: . Análise de falhas em máquinas. São Paulo: Tele, 2000. p. 1-7. (TELECURSO 2000). Disponível em: <<http://essel.com.br/cursos/material/01/Manutencao/13manu.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- 11 CARVALHO JUNIOR, Antonio Neves; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE FALHAS À MELHORIA DE PROCESSOS DE EXECUÇÃO EM OBRAS PREDIAIS. Enegep: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, v. ?, n. ?, p.1-15, 1999. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0280.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- 12 CARVALHO, Marly Monteiro de e PALADINI, Edson Pacheco. Coordenadores. Gestão da Qualidade. 2 ed. Rio de Janeiro. Elsevier: ABEPRO, 2012.

- 13 WERKEMA, Maria Cristina Catarina. Criando a Cultura Seis Sigma Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- 14 BASTIANI, JeisonArenhart de; MARTINS, Rosemary. FERRAMENTAS DA QUALIDADE: Diagrama de Ishikawa. 2012. Disponível em: <<http://www.blogdaqualidade.com.br/diagrama-de-ishikawa/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- 15 RODRIGUES, Marcus Vinícius. Ações para a Qualidade. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014
- 16 WERKEMA, M.C.C. Criando a cultura Lean Seis Sigma. 2 ed. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2012.