



Artigo

Análise de falha de uma linha de eixo de transmissão pertencente a um descarregador de barcaças instalado no Terminal Salineiro de Areia Branca/RN

Raniel Azevedo Pinheiro^[1], Dr. Fabrício José Nóbrega Cavalcante^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Engenharia de Manutenção; aluno; raniel.azevedo@hotmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Engenharia de Manutenção; orientador; fabriciocavalcante@ufersa.edu.br

Recebido: 28/05/2021;

Aceito: 28/08/2021;

Publicado: 06/12/2021.

Resumo: A análise de falhas consiste em um conjunto de ações com o objetivo de analisar as não conformidades ocorridas em componentes e equipamentos pertencentes a um determinado processo, para encontrar e mitigar as causas raiz dos problemas em questão. Este tipo de estudo é presente na área de manutenção desde o ano de 1949, quando engenheiros militares dos Estados Unidos da América (EUA) trabalhavam na confiabilidade dos seus sistemas e equipamentos. Dessa forma, foi proposta a obtenção da causa raiz de uma falha ocorrida, bem como a análise de outras possíveis falhas de uma linha de eixo de transmissão responsável pela translação do *Trolley* (casaria fabricada em chapa de aço, contendo rodas, equipamentos mecânicos e elétricos responsáveis por seu movimento sob trilhos) de um descarregador de barcaças pertencente ao Terminal Salineiro de Areia Branca/RN. Aplicando a metodologia das ferramentas de análise de falhas cinco porquês e FMEA, foi possível identificar a causa raiz do rompimento do eixo, que se deu na falta de programação de manutenção preventiva do equipamento, e levantar todas as formas como o equipamento pode falhar e seus efeitos, gerando um conjunto de atividades preventivas e preditivas a fim de eliminar os riscos.

Palavras-chave: Falha; Porquês; FMEA; Manutenção; Porto.

Abstract: Failure analysis consists of a set of actions with the objective of analyzing the non-conformities that occurred in components and equipment belonging to a given process, in order to find and mitigate the root causes of the problems in question. This type of study has been present in the maintenance area since 1949, when military engineers from the United States of America (USA) worked on the reliability of their systems and equipment. Thus, it was proposed to obtain the root cause of a failure that occurred, as well the analysis of other possible failures of a transmission shaft line responsible for the translation of the *Trolley* (house made of steel sheet, containing wheels, mechanical and electrical equipment responsible for its movement on rails) from a barge unloader belonging to the Salineiro Terminal of Areia Branca/RN. Applying the methodology of the five whys and FMEA failure analysis tools, it was possible to identify the root cause of the shaft break, which occurred in the absence of a preventive maintenance schedule for the equipment, and to raise all the ways in which the equipment can fail and its effects, generating a set of preventive and predictive activities in order to eliminate risks.

Key-words: Failure; Why; FMEA; Maintenance; Harbor.

1. INTRODUÇÃO

O avanço do mercado e a exigência por produção cada vez maior, rápida e eficaz, requerem mais tempo e ótimas condições de operação dos equipamentos envolvidos nos processos, além de projetos complexos para que a demanda seja atendida. Logo, com o passar dos anos, a área da manutenção teve que avançar significativamente, aumentando a exigência por conhecimentos técnicos em níveis cada vez maiores. Nesse contexto, atualmente, a manutenção deve deixar de ser vista como uma área de custos e passar a fazer parte dos planejamentos estratégicos das empresas, tendo em vista a capacidade de antecipar as falhas e consequentes paradas inesperadas nos equipamentos durante a produção, evitando grandes prejuízos e otimizando os resultados [1,2].

A norma NBR 5462, convencionada em 1994 (Confiabilidade e manutenibilidade), define manutenção como sendo a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado que possa desempenhar uma função requerida, ou seja, qualquer atividade que for realizada, desde a intervenção direta no equipamento feita pelos técnicos até o planejamento, para manter o equipamento em funcionamento, é considerada como manutenção. E o conceito de falha é definido como um evento ocorrente que torna o equipamento incapaz de desempenhar a função requerida [3].

Então, considerando os conceitos de manutenção e as necessidades do mercado de aumento de disponibilidade dos equipamentos de produção, surge a Manutenção Centrada em Confiabilidade (*Reliability Centered Maintenance*) – RCM, com conceito inicial no ano de 1949 nos Estados Unidos, como uma seleção de estratégias de manutenção capaz de manter a disponibilidade e confiabilidade de qualquer processo produtivo, tendo em vista a redução das falhas nos equipamentos, reduzindo o custo com paradas de produção. Para que o RCM seja aplicado, é necessária a aplicação de uma ferramenta que tenha o objetivo de analisar as principais funções do sistema, como as falhas podem surgir e quais as consequências dessas falhas, ou seja, analisar o modo e efeitos das falhas. Este método é chamado de FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) [4-6].

O método cinco porquês, desenvolvido por Sakichi Toyoda, fundador da Toyota, é utilizado para determinar as causas e os efeitos de uma determinada falha específica e consiste em um método interrogativo, em que a pergunta “por quê?” é feita a cada evento que antecedeu à falha, até que se encontre a causa raiz. É importante salientar que não necessariamente esta é encontrada na quinta pergunta, podendo ser antes ou depois [1].

O Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB), mais conhecido como Porto-Ilha, está localizado no Rio Grande do Norte, a 14 km do litoral da cidade de Areia Branca/RN. Em operação desde setembro de 1974, o TERSAB é responsável pelo escoamento de todo o sal que é exportado, bem como para mercado interno. Tendo a característica de ser o único porto de material a granel *off-shore* do mundo, possui uma capacidade de escoamento anual de sal marinho de aproximadamente dois milhões de toneladas [7].

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é utilizar a ferramenta cinco porquês para analisar uma falha ocorrida em uma linha de eixo de transmissão de um descarregador de barças de sal marinho instalado e em operação no Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB), e em seguida aplicar o FMEA no equipamento, de forma que, ao final da análise, tenha-se um conjunto de ações de manutenção preventivas e preditivas a fim de eliminar a reincidência da falha.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação das ferramentas de análise na falha ocorrida no equipamento do TERSAB se dará na seguinte sequência:

1. Cinco porquês
2. FMEA

O método dos cinco porquês será aplicado primeiro com o objetivo de descobrir a causa raiz da falha seguindo o modelo do fluxograma mostrado na Figura 1.

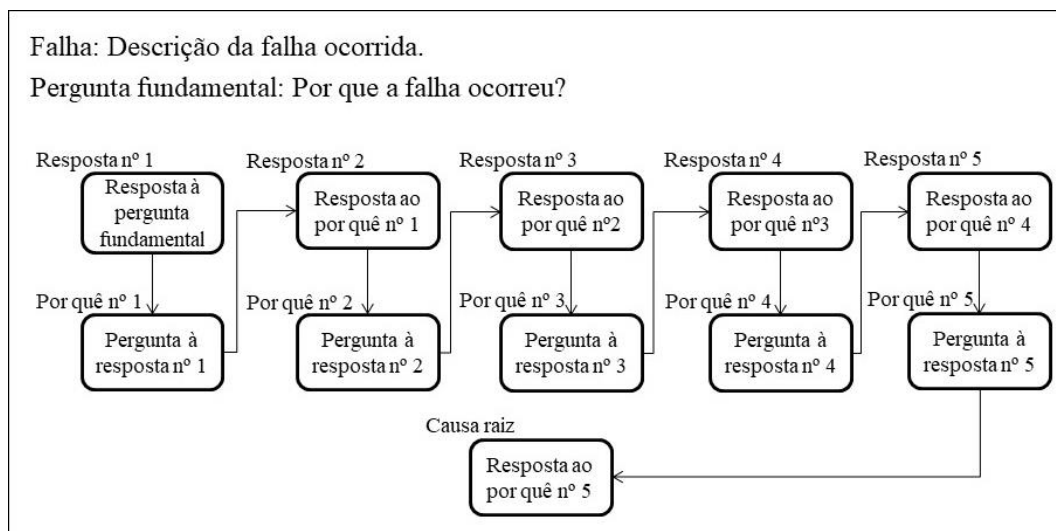


FIGURA 1. Fluxograma adaptado do método dos cinco porquês [1].

Após a identificação da causa raiz da falha no equipamento, será feita a aplicação da ferramenta FMEA para elaboração de análise dos modos, causas e efeitos das falhas que podem acontecer ao equipamento, juntamente com um conjunto de ações de manutenção preventivas a ser executadas pelas equipes mantenedoras para evitar que a causa raiz e demais falhas ocorram durante a operação do equipamento, aumentando sua disponibilidade. Como resultado, será gerado um documento de FMEA para a linha de eixo de transmissão em estudo. Para a elaboração do documento será seguido o seguinte passo a passo, conforme sugerido pelo autor Eng. Jhonata Teles [1]:

1. Cabeçalho: deve conter o número do FMEA, revisão do documento, processo, área e sistema analisados, equipe de elaboração da análise, data de início, responsável pela atividade de elaboração e responsável pela revisão;
2. Ponto da falha: é onde serão indicados o equipamento, função do equipamento, e componentes analisados;
3. Análise da falha: nesta etapa serão identificados os modos de falhas (que é como a falha se apresenta, se pela audição, visão, olfato ou tato), os efeitos da falha (que é a consequência dessa falha no processo) e a causa da falha (o que levou o componente a falhar);
4. Avaliação de risco: através de três fatores, que são a ocorrência da falha, severidade da falha e probabilidade de detecção, quantifica-se o risco de cada modo de falha seguido do cálculo do RPN (*Risk Priority Number* – Número de Prioridade de Risco). Esta análise é feita conforme explicação abaixo.

O valor de cada fator é obtido através de atribuição de nota, que vai de um a dez, para cada modo de falha. O menor valor indica menores chances ou intensidade e o maior valor indica maiores chances ou intensidade, conforme mostrado nas Figuras 2, 3 e 4 abaixo, para ocorrência da falha, severidade da falha e probabilidade de detecção, respectivamente.

Ocorrência		
Probabilidade de falha	Taxas de falha possíveis	Índice de ocorrência
Remota: falha é improvável	Chance remota de falha	1
Baixa: relativamente poucas falhas	Frequência muito baixa: uma vez a cada cinco anos	2
	Pouco frequente: uma vez a cada dois anos	3
Moderada: falhas ocasionais	Frequência baixa: uma vez por ano	4
	Frequência ocasional: uma vez por semestre	5
	Frequência moderada: uma vez por mês	6
Alta: falhas frequentes	Frequente: uma vez por semana	7
	Frequência elevada: algumas vezes por semana	8
Muito alta: falhas persistentes	Frequência muito elevada: uma vez ao dia	9
	Frequência máxima: várias vezes ao dia	10

FIGURA 2. Quantificação da ocorrência da falha, adaptado [1].

Severidade		
Severidade	Efeito da severidade	Índice da severidade
Nenhum	Sem defeito identificado	1
Muito menor	Itens de ajuste. Acabamento/chiado e barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (< 25%)	2
Menor	Itens de ajuste. Acabamento/chiado e barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes (50%)	3
Muito baixo	Itens de ajuste. Acabamento/chiado e barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (> 75%)	4
Baixo	Equipamento operável, mas item de conforto/conveniência operável com níveis de desempenho reduzido	5
Moderado	Equipamento operável, mas item de conforto/conveniência inoperável. Cliente insatisfeito	6
Alto	Equipamento inoperável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito	7
Muito alto	Equipamento inoperável (perda das funções primárias)	8
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento com aviso prévio	9
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio	10

FIGURA 3. Quantificação da severidade da falha, adaptado [1].

Detecção		
Detecção	Critério	Índice da detecção
Quase certamente	Controles certamente detectarão	1
Muito alta	Controles quase certamente detectarão	2
Alta	Controles têm boas chances de detectar	3
Moderadamente alta	Controles têm boas chances de detectar, em casos de preparação de máquina	4
Moderada	Controles podem detectar	5
Baixa	Controles podem detectar, com métodos estatísticos	6
Muito baixa	Controles têm poucas chances de detecção	7
Remota	Controles têm poucas chances de detecção, apenas com inspeção visual	8
Muito remota	Controles provavelmente não irão detectar	9
Quase impossível	Certeza absoluta da não detecção	10

FIGURA 4. Quantificação da detecção da falha, adaptado [1].

Após atribuir os valores de ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D) para determinado modo de falha, multiplica-se os índices, onde o resultado é o RPN, como mostrado na Equação 1. Quanto maior este valor, maior é a prioridade do componente analisado no plano de ações de manutenções preventivas e preditivas [1].

$$RPN = O \cdot S \cdot D \quad (1)$$

5. Ações preventivas recomendadas: utilizando-se dos conhecimentos da equipe de manutenção, nesta etapa são listadas, para cada modo de falha, as ações preventivas e preditivas necessárias para que as falhas não ocorram ou mitigar seus riscos.

O equipamento em estudo é chamado de linha de eixo de transmissão, do qual tem o objetivo principal de movimentar um carro *Trolley* (pode ser descrito como uma casaria fabricada em chapas de aço, contendo rodas, equipamentos mecânicos e elétricos responsáveis pelas operações de sal) sob trilhos em um descarregador de barcaças (DB) pertencente ao TERSAB.

A linha de eixo de transmissão é subdividida em duas, uma maior e outra menor, que acopladas a um redutor de velocidade, e este, a um motor elétrico de acionamento, transmitem torque através do eixo e engrenagens da própria linha e das rodas, permitindo o movimento de translação sob os trilhos. A Figura 5 é uma foto do local onde são instalados os equipamentos. Nela é possível observar os equipamentos citados acima, chamado de sistema de translação do *Trolley*.

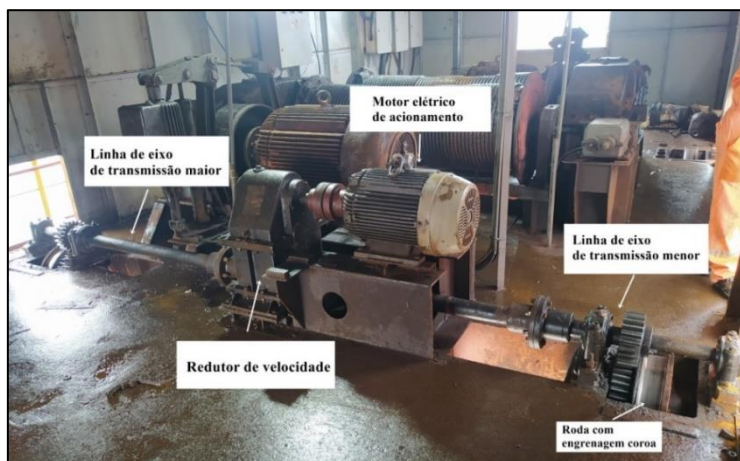


FIGURA 5. Equipamento que compõem o sistema de translação do *Trolley* de um DB, do qual a linha de eixo de transmissão faz parte (autoria própria).

A situação que foi analisada foi uma falha na linha de eixo de transmissão menor, com o rompimento do eixo, ocorrida no mês de dezembro do ano de 2019. A Figura 6 mostra uma foto do equipamento e o local do rompimento e a Figura 7 mostra uma foto dos componentes e os nomes que formam o equipamento em estudo.



FIGURA 6. Rompimento do eixo com indicação do local da falha (autoria própria).

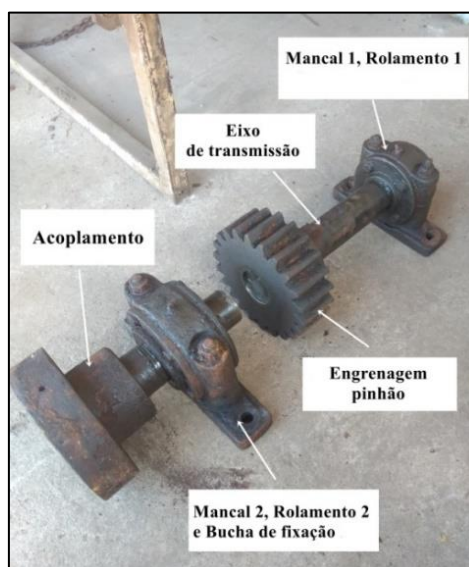


FIGURA 7. Componentes da linha de eixo menor (autoria própria).

3. RESULTADOS

3.1. Aplicação do método dos Cinco porquês: análise de causa raiz

Semelhante ao método que será aplicado no FMEA, foi elaborado um documento de análise de causa raiz pelo método dos cinco porquês, incluindo um cabeçalho de identificação conforme mostrado na Figura 8, contendo número da análise, revisão do documento, processo, área e sistema analisados, equipe de elaboração da análise, data de início, responsável pela atividade de elaboração e responsável pela revisão.

Análise de Causa Raiz - 5 porquês					
Nº: 1	Revisão Nº: 1	Data de Início: 12/05/2021	Responsável: Raniel Azevedo Pinheiro		
Processo: 01-DB/2021	Área: DB	Sistema: Translação do Trolley do Descarregador de Barcaças			
Equipe: Setor de PCM	Revisado por: Gerência de PCM				

FIGURA 8. Cabeçalho da análise de falha utilizando o método dos cinco porquês (autoria própria).

Após o cabeçalho, foi feita a descrição da falha e a pergunta fundamental da falha, respectivamente:

- Rompimento do eixo da linha de eixo de transmissão menor, entre o mancal 2 e a engrenagem pinhão;
- Por que o eixo rompeu?

A partir disso, foram aplicadas cinco perguntas e respostas, conforme mostrado na Figura 9.

Descrição da Rompimento do eixo da linha de eixo de transmissão menor, entre o falha: mancal 2 e a engrenagem pinhão			Pergunta fundamental: Por que o eixo rompeu?	
Resposta (1ª)	Resposta (2ª)	Resposta (3ª)	Resposta (4ª)	Resposta (5ª)
A linha de eixo operou com folga no mancal 2.	Os parafusos da base do mancal estavam folgados.	Após a montagem da linha de eixo, os parafusos não foram reapertados preventivamente.	Não existe um cronograma de manutenção preventiva para a linha de eixo.	O cronograma não foi elaborado pelo setor de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM).
Por que? (1ª)	Por que? (2ª)	Por que? (3ª)	Por que? (4ª)	Por que? (5ª)
Por que a linha de eixo operou com folga no mancal 2?	Por que os parafusos da base do mancal estavam folgados?	Por que não houve reaperto dos parafusos?	Por que não existe um cronograma de manutenção preventiva para a linha de eixo?	Por que o PCM não elaborou o cronograma de manutenção preventiva da linha de eixo?
		Causa Raiz		
		O setor de PCM está sempre envolvido em manutenções corretivas rotineiras nos demais equipamentos do processo, não conseguindo ter elaborado um cronograma de preventivas para a linha de eixo.		

FIGURA 9. Resultados da análise dos cinco porquês (autoria própria).

Como resultado, a causa raiz encontrada para a falha ocorrida na linha de eixo de transmissão está na concentração do setor de PCM em mitigar as manutenções corretivas que acontecem diariamente em todo o processo de produção de descarregamento de sal. Dessa forma, as manutenções preventivas acabam ficando em segundo plano, pois a necessidade maior está no retorno das operações do DB em um menor tempo possível, pois sua paralisação acarreta em prejuízos enormes. O documento da análise cinco porquês é apresentado no apêndice A1.

3.2. Aplicação do método FMEA: análise de modos e efeitos de falha

Após a análise de causa raiz, o FMEA foi aplicado para mapear e revisar todos os componentes do equipamento com o objetivo de estruturar a mitigação das possíveis falhas para eliminar os riscos baseado na redução da probabilidade da falha.

Seguindo a metodologia exposta anteriormente, a aplicação do FMEA iniciou com a elaboração de um cabeçalho, contendo informações de controle do processo para o setor do PCM (Figura 10), seguindo com o ponto da falha, onde foi identificado o equipamento analisado, no caso uma linha de eixo de transmissão, a sua função de transmitir torque e velocidade para movimentar o *Trolley* e os componentes do equipamento, respectivamente (Figura 11).

Análise de Modo e Efeito de Falha - FMEA					
Nº FMEA:	1	Revisão Nº:	1	Data de Início:	12/05/2021
Responsável:	Raniel Azevedo Pinheiro				
Processo:	02-DB/2021	Área:	DB	Sistema:	Translação do Trolley do Descarregador de Barcaças
Equipe:	Setor de PCM		Revisado por:	Gerência de PCM	

FIGURA 10. Cabeçalho da análise de modo e efeito de falha utilizando o FMEA (autoria própria).

Ponto da Falha		
Equipamento	Função do Equipamento	Componente
Linha de eixo de transmissão menor	Transmitir torque e velocidade às rodas para movimentação do Trolley	Engrenagem pinhão
		Mancais
		Rolamentos
		Buchas de fixação
		Eixo
		Retentores dos mancais
		Acomplamento

FIGURA 11. Ponto da falha do FMEA da linha de eixo de transmissão menor (autoria própria).

Após identificação do equipamento, sua função e componentes, foi feita a análise da falha, do qual, foram identificados todos os possíveis modos de falha (também chamado de sintomas) que podem ocorrer a em cada componente, os efeitos que cada modo de falha oferece ao sistema e os motivos que causaram os modos de falha, conforme mostrado na Figura 12.

Análise da Falha		
Modos de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha
Vibração excessiva	Desgaste dos dentes	Regime de trabalho pesado
Vibração excessiva	Desgaste do rasgo de chaveia	Impactos gerados entre os dentes desgastados
Vibração excessiva	Desalinhamento da linha de eixo	Folga dos parafusos da base
Vibração excessiva	Quebra da base dos mancais	Folga dos parafusos da base
Vibração excessiva	Falha do eixo	Desalinhamento da linha de eixo
Temperaturas excessivas	Perda de eficiência de lubrificação	Desalinhamento da linha de eixo
Temperaturas excessivas	Quebra do rolamentos	Falha de lubrificação nos mancais
Vibração excessiva	Quebra do rolamentos	Desalinhamento da linha de eixo
Vibração excessiva	Falha do eixo	Folga na porca de ajuste das bucha
Vibração excessiva	Quebra do eixo e rolamentos	Desnivelamento do eixo na fabricação
Vazamento	Contaminação / Perda de Lubrificante	Falha na montagem
Vazamento	Contaminação / Perda de Lubrificante	Desalinhamento da linha de eixo
Vibração excessiva	Quebra dos rolamentos	Folga dos parafusos de união dos acoplamentos
Ruído excessivo	Desgaste dos furos de união dos acoplamentos	Folga dos parafusos de união dos acoplamentos

FIGURA 12. Análise da falha do FMEA da linha de eixo de transmissão menor (autoria própria).

A seguir, os riscos de todos os modos de falha foram quantificados através dos fatores (ocorrência, severidade e detecção) e valores mostrados anteriormente. Além disso, foi calculado o valor do RPN, utilizando-se da fórmula apresentada. A análise de risco é mostrada na Figura 13.

Avaliação de Risco			
Ocorrência	Severidade	Defecção	RPN
4	3	6	72
3	5	6	90
6	7	7	294
2	8	9	144
5	8	10	400
6	5	5	150
5	8	6	240
6	8	6	288
3	8	9	216
2	8	4	64
6	3	9	162
6	3	9	162
6	8	6	288
4	8	7	224

FIGURA 13. Análise de risco do FMEA da linha de eixo de transmissão menor (autoria própria).

Por fim, para finalizar a elaboração do FMEA da linha de eixo de transmissão menor, foram atribuídas atividades de manutenção preventiva e preditiva, para cada modo falha, com o objetivo de prevenir e/ou identificar as falhas em estágio inicial. As ações preventivas recomendadas são apresentadas na Figura 14.

Ação Preventiva Recomendada
Inspeccionar folga das engrenagens a cada 2 meses.
Inspeccionar folga das engrenagens a cada 2 meses.
Reapertar parafusos das bases dos mancais a cada 20 dias.
Reapertar parafusos das bases dos mancais a cada 20 dias.
Inspeccionar alinhamento da linha de eixo mensalmente. Fazer alinhamento a laser conforme resultado da inspeção.
Lubrificar rolamentos a cada 360 horas.
Inspeccionar e substituir graxeiros dos mancais a cada 2 meses. Lubrificar rolamentos a cada 360 horas.
Fazer análise de vibração mensalmente.
Treinamento técnico da equipe sobre montagem e manutenção de mancais.
Inspeccionar nivelamento do eixo antes da montagem dos rolamentos.
Treinamento técnico da equipe sobre montagem e manutenção de mancais.
Treinamento técnico da equipe sobre alinhamento de equipamentos.
Reapertar parafusos das bases dos mancais a cada 2 meses.
Reapertar parafusos das bases dos mancais a cada 2 meses.

FIGURA 14. Ações preventivas recomendadas do FMEA da linha de eixo de transmissão menor (autoria própria).

Como resultado da análise FMEA para linha de eixo de transmissão, através dos valores calculados do RPN é possível observar e elencar os quatro maiores riscos para o sistema de translação do *Trolley* em caso de falha, que são:

1. Vibração excessiva nos mancais causada pelo desalinhamento da linha de eixo. RPN: 400

2. Vibração excessiva nos mancais causada pela folga dos parafusos da base. RPN: 294
3. Vibração excessiva nos rolamentos causada pelo desalinhamento da linha de eixo. RPN: 288
4. Vibração excessiva nos acoplamentos causada pela folga dos parafusos de união dos acoplamentos. RPN: 288

Baseado nisso, as ações preventivas, principalmente para estes últimos modos de falha, devem ser seguidas, conforme uma programação a ser elaborada pelo de PCM a ser executada dia a dia, para que a disponibilidade desse equipamento seja aumentada consideravelmente, reduzindo os custos da operação. O documento da análise FMEA é apresentado no apêndice A2.

4. CONCLUSÃO

Assim, aplicando o método de análise de causa raiz da falha, com o método dos cinco porquês, na linha de eixo de transmissão de um descarregador de barças do TERSAB, foi possível chegar à causa raiz da falha ocorrida no eixo em dezembro de 2019 que foi a folga dos parafusos nos mancais da linha de eixo menor devido a não elaboração de um cronograma de manutenção preventiva no equipamento. Na aplicação do FMEA foi possível identificar todos os demais modos como o equipamento pode falhar e suas consequências, gerando um conjunto de atividades para preveni-las, como o treinamento da equipe de PCM para elaboração de cronogramas de manutenção e o posterior reaperto de parafusos dos mancais durante tempos de operação. obedecendo então ao proposto no estudo. Estas atividades devem ser adicionadas nos cronogramas de manutenção elaborados e revisados pelo setor do PCM.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN), administradora do Terminal Salineiro de Areia Branca, pela autorização e divulgação do estudo de caso.

REFERÊNCIAS

- [1] Teles, Eng. Jhonata. *Planejamento e Controle da Manutenção: Uma metodologia passo a passo para implantação do PCM*, 1ª ed.; Editora: Engeteles, Brasil, 2019; p. 04–137.
- [2] Viana, Herbert Ricardo. *PCM: Planejamento e Controle da Manutenção*, 1ª ed.; Editora: Qualitymark, Brasil, 2006; p. 01–192.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade*. Rio de Janeiro, p. 3-6. 1994.
- [4] ASM Handbook. *Maintenance Management and Engineering*. 1ª ed.; Editora: Springer, Ohio, p. 45-90. 2009. DOI: 10.1007/978-1-84882-472-0.
- [5] Kardec, Alan; Naseif, Júlio. *Manutenção: função estratégica*, 3ª ed.; Editora: Qualitymark, Brasil, 2009; p. 04–368.
- [6] Fogliatto, Flávio Sanson; Ribeiro, José Luis Duarte. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*, 7ª ed.; Editora: Elsevier, Brasil, 2009; p. 01–288.
- [7] CODERN – Companhia Docas do Rio Grande do Norte. Disponível online: codern.com.br/term-salineiro-de-areia-branca/ (acesso em 10/05/2021).

APÊNDICE A1 – ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DOS 5 PORQUÊS

Análise de Causa Raiz - 5 porquês					
Nº: 1	Revisão Nº: 1	Data de Início: 12/05/2021	Responsável: Raniel Azevedo Pinheiro		
Processo: 01-DB/2021	Área: DB	Sistema: Translação do Trolley do Descarregador de Barcaças	Revisado por: Gerência de PCM		
Equipe:	Setor de PCM				
Descrição da Rompimento do eixo da linha de eixo de transmissão menor, entre o falha: mancal 2 e a engrenagem pinhão					
Resposta (1º)	Resposta (2º)	Resposta (3º)	Resposta (4º)	Resposta (5ª)	
A linha de eixo operou com folga no mancal 2.	Os parafusos da base do mancal estavam folgados.	Após a montagem da linha de eixo, os parafusos não foram reapertados preventivamente.	Não existe um cronograma de manutenção preventiva para a linha de eixo.	O cronograma não foi elaborado pelo setor de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM).	
Por que? (1º)	Por que? (2º)	Por que? (3º)	Por que? (4º)	Por que? (5º)	
Por que a linha de eixo operou com folga no mancal 2?	Por que os parafusos da base do mancal estavam folgados?	Por que não houve reaperto dos parafusos?	Por que não existe um cronograma de manutenção preventiva para a linha de eixo?	Por que o PCM não elaborou o cronograma de manutenção preventiva da linha de eixo?	
Causa Raiz			O setor de PCM está sempre envolvido em manutenções corretivas rotineiras nos demais equipamentos do processo, não conseguindo ter elaborado um cronograma de preventivas para a linha de eixo.		

FIGURA A1. Documento da análise de causa raiz pelo método dos cinco porquês de uma linha de eixo de transmissão menor (autoria própria).

APÊNCIDE A2 – ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA

Análise de Modo e Efeito de Falha - FMEA																																																																																					
Nº FMEA:	1	Revisão Nº:	1	Data de Início:	12/05/2021	Responsável:	Raniel Azevedo Pinheiro																																																																														
Processo:	02-DB/2021	Área:	DB	Sistema:	Translação do Trolley do Descarregador de Barcoças	Revisado por:	Gerência de PCM																																																																														
Equipe:	Setor de PCM																																																																																				
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Modos de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Avaliação de Risco			Ação Preventiva Recomendada																																																																												
						Ocorrência	Severidade	Deteção																																																																													
Análise da Falha						Ocorrência	Severidade	Deteção	RPN																																																																												
Linha de eixo de transmissão menor	Transmitir torque e velocidade às rodas para movimentação do Trolley	Rolamentos	Vibração excessiva	Desgaste dos dentes	Regime de trabalho pesado	Perda de eficiência de lubrificação	6	5	5	150	Lubrificar rolamentos a cada 360 horas.																																																																										
												Engrenagem pinhão	Vibração excessiva	Desgaste do rosco de chaveta	Impactos gerados entre os dentes desgastados	Falha de lubrificação nos mancais	5	8	6	240	Inspeccionar e substituir graxeiros dos mancais a cada 2 meses. Lubrificar rolamentos a cada 360 horas.																																																																
																						Mancais	Vibração excessiva	Desalinhamento da linha de eixo	Folga dos parafusos da base	Desalinhamento da linha de eixo	6	8	9	294	Reparar parafusos das bases dos mancais a cada 20 dias.																																																						
																																Vibração excessiva	Quebra da base dos mancais	Folga dos parafusos da base	Desalinhamento da linha de eixo	6	7	7	144	Reparar parafusos das bases dos mancais a cada 20 dias.																																													
																																									Vibração excessiva	Falha do eixo	Desalinhamento da linha de eixo	Folga dos parafusos de união dos acoplamentos	6	8	6	288	Inspeccionar alinhamento da linha de eixo mensalmente. Fazer alinhamento a laser conforme resultado da inspeção.																																				
																																																		Temperaturas excessivas	Quebra do rolamento	Desalinhamento da linha de eixo	Folga na porca de ajuste das buchas	3	8	9	216	Treinamento técnico da equipe sobre montagem e manutenção de mancais.																											
																																																											Buchas de fixação	Vibração excessiva	Falha do eixo	Desnivelamento do eixo na fabricação	2	8	4	64	Inspeccionar nivelamento do eixo antes da montagem dos rolamentos.																		
																																																																				Eixo	Vibração excessiva	Quebra do eixo e rolamentos	Contaminação / Perda de lubrificante	6	3	9	162	Treinamento técnico da equipe sobre montagem e manutenção de mancais.									
																																																																													Retentores dos mancais	Vazamento	Contaminação / Perda de lubrificante	Desalinhamento da linha de eixo	6	3	9	162	Treinamento técnico da equipe sobre alinhamento de equipamentos.
Vibração excessiva	Desgaste dos furos de união dos acoplamentos	Folga dos parafusos de união dos acoplamentos	Folga dos parafusos de união dos acoplamentos	4	8	7	224	Reparar parafusos das bases dos mancais a cada 2 meses.																																																																													

FIGURA A2. Documento da análise dos modos e efeitos de falha de uma linha de eixo de transmissão menor pelo método FMEA (autoria própria).