



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RAIMUNDO NONATO MARCELINO DE MENDONÇA JÚNIOR

**ESTUDO DOS MODOS DE FALHA DO SISTEMA RESPONSÁVEL PELO  
DESLOCAMENTO TRANSVERSAL DOS DESCARREGADORES DE BARCAÇAS  
DO TERMINAL SALINEIRO DE AREIA BRANCA**

MOSSORÓ – RN

2023

RAIMUNDO NONATO MARCELINO DE MENDONÇA JÚNIOR

**ESTUDO DOS MODOS DE FALHA DO SISTEMA RESPONSÁVEL PELO  
DESLOCAMENTO TRANSVERSAL DOS DESCARREGADORES DE BARCAÇAS  
DO TERMINAL SALINEIRO DE AREIA BRANCA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Pierre Batista dos Reis.

MOSSORÓ – RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

MM539 Mendonça Júnior, Raimundo Nonato Marcelino de.  
e Estudo dos modos de falha do sistema responsável pelo deslocamento transversal dos descarregadores de barcaças do terminal salineiro de Areia Branca / Raimundo Nonato Marcelino de Mendonça Júnior. - 2023.  
54 f. : il.

Orientador: Rômulo Pierre Batista dos Reis  
Reis.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Mecânica, 2023.

1. Manutenção mecânica. 2. Análise de falhas. 3. Terminal salineiro. I. Reis, Rômulo Pierre Batista dos Reis , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência  
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva  
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RAIMUNDO NONATO MARCELINO DE MENDONÇA JÚNIOR

**ESTUDO DOS MODOS DE FALHA DO SISTEMA RESPONSÁVEL PELO  
DESLOCAMENTO TRANSVERSAL DOS DESCARREGADORES DE BARCAÇAS  
DO TERMINAL SALINEIRO DE AREIA BRANCA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 11/10/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **ROMULO PIERRE BATISTA DOS REIS**  
Data: 17/10/2023 10:31:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Rômulo Pierre Batista dos Reis (UFERSA)  
Presidente

Documento assinado digitalmente  
 **FABRICIO JOSE NOBREGA CAVALCANTE**  
Data: 19/10/2023 17:16:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Fabrício José Nóbrega Cavalcante (UFERSA)  
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente  
 **VICTOR WAGNER FREIRE DE AZEVEDO**  
Data: 17/10/2023 15:12:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Victor Wagner Freire de Azevedo (UFERSA)  
Membro Examinador

*Aos meus avós, **Cicero Cosme de Andrade** (in memorian) e **Maria de Lourdes Santiago** (in memorian), que apesar de diversas dificuldades nunca desistiram de mim e sempre me deram conselhos, me apoiaram e deram atenção, além de sempre me incentivar a seguir o caminho dos estudos, isso foi de uma fundamental importância para eu está onde estou.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço acima de tudo a Deus por iluminar meus caminhos nesta trajetória; a ajuda do meu orientador Rômulo, pela paciência e compreensão com que sempre me atendeu; a minha mãe Deolícia, ao meu irmão David e ao meus avós Cicero e Lourdes, pela educação, amor e carinho, pela ajuda e apoio que sempre deram quando preciso; a minha namorada Alice, por todo incentivo e apoio; aos professores que encaminharam nos estudos; aos meus familiares e amigos pelo apoio e estímulo; e a empresa EVS Engenharia pela oportunidade e aprendizado.

*A falha acontece  
quando a prevenção falha!*

**Thiago Lopes**

## RESUMO

Atualmente, com um mercado progressivamente mais competitivo e com clientes cada vez mais rigorosos, as empresas buscam a todo o momento inovações em seus processos de produção para se obter a confiabilidade e a qualidade de seus produtos através de métodos de prevenção de falhas. Uma dessas ferramentas da qualidade que obedece a estes requisitos é o método da FMEA (Análise de Modo e Efeitos de Falha), que permite analisar possíveis modos de falhas e o que sua ocorrência poderia causar dentro de uma indústria, agindo preventivamente para eliminação dos mesmos. Além disso, identifica ações prioritárias de melhoria em seus produtos e serviços. O presente trabalho tem por objetivo apresentar as principais características do método do FMEA e aplicar em um sistema dos equipamentos responsáveis pelo abastecimento e transporte de sal marinho do Terminal Salineiro de Areia Branca/RN (TERSAB), para revisão das estratégias de manutenção e redução do número de falhas potenciais. Apesar das dificuldades encontradas, a elaboração da FMEA proporcionou um profundo conhecimento sobre cada componente que faz parte do processo.

**Palavras-chave:** Manutenção. FMEA. Terminal Salineiro.



## **ABSTRACT**

Currently, with a progressively more competitive market and increasingly demanding customers, companies are always looking for innovations in their production processes to obtain the reliability and quality of their products through failure prevention methods. One of these quality tools that meets these requirements is the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) method, which allows analyzing possible failure modes and what their occurrence could cause within industry, acting preventively to eliminate them. In addition, it identifies priority actions to improve its products and services. The objective of this work is to present the main characteristics of the FMEA method and its application in a system of equipment responsible for the supply and transport of sea salt at the Salt Terminal in Areia Branca/RN (TERSAB), for reviewing maintenance strategies and reducing the number of potential failures. Despite the difficulties encountered, the preparation of the FMEA provided in-depth knowledge about each component that is part of the process.

**Keywords:** Maintenance. FMEA. Salt Terminal.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|        |                                                |
|--------|------------------------------------------------|
| APR    | Análise Preliminar de Risco                    |
| CN     | Carregador de Navios                           |
| CODERN | Companhia Docas do Rio Grande do Norte         |
| DB     | Descarregador de Barcaças                      |
| FMEA   | Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos      |
| GERTAB | Gerência do Terminal Salineiro de Areia Branca |
| HAZOP  | Estudo de Perigos e Operabilidade              |
| ISO    | Organização Internacional de Normalização      |
| km     | Quilometro                                     |
| m      | Metro                                          |
| mm     | Milímetro                                      |
| NBR    | Norma Técnica Brasileira                       |
| PCM    | Planejamento e Controle de Manutenção          |
| Ra     | Rugosidade Média                               |
| RN     | Rio Grande do Norte                            |
| RPN    | Número de Prioridade de Risco                  |
| SAE    | Sociedade de Engenheiros Automotivos           |
| TERSAB | Terminal Salineiro de Areia Branca             |
| °C     | Grau Celsius                                   |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - FMEA de processo para manutenção .....                                      | 28 |
| Figura 2 - Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB) .....                           | 32 |
| Figura 3 - Localização do Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB).....             | 32 |
| Figura 4 - Barcaça transportando sal da salina ao terminal .....                       | 33 |
| Figura 5 - Recebimento e armazenamento do sal no pátio de estocagem do Porto-Ilha..... | 33 |
| Figura 6 - Esteira transportadora e estrutura de sustentação .....                     | 34 |
| Figura 7 - Componentes do CN.....                                                      | 34 |
| Figura 8 - Trucks DB 02.....                                                           | 36 |
| Figura 9 - Motor e redutor utilizados no acionamento do truck.....                     | 36 |
| Figura 10 - Truck motriz e truck livre .....                                           | 37 |
| Figura 11 - Desmontagem do truck motriz e redutor .....                                | 38 |
| Figura 12 - Jateamento das carcaças.....                                               | 39 |
| Figura 13 - Processo de recuperação das rodas .....                                    | 39 |
| Figura 14 - Equipamentos aptos para operação.....                                      | 40 |
| Figura 15 – Ocorrência dos riscos .....                                                | 46 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Tipos de manutenção indicadas .....                             | 18 |
| Tabela 2 - Tipos de FMEA .....                                             | 26 |
| Tabela 3 - Exemplo de requisitos e modos de falha da FMEA de projeto ..... | 29 |
| Tabela 4 - Etapas da metodologia.....                                      | 31 |
| Tabela 5 - Diagrama organizacional do sistema.....                         | 35 |
| Tabela 6 - Especificações do conjunto motor-redutor .....                  | 36 |
| Tabela 7 - Critérios de severidade (S) .....                               | 41 |
| Tabela 8 - Critérios de ocorrência (O).....                                | 41 |
| Tabela 9 - Critério de detecção (D) .....                                  | 42 |
| Tabela 10 - Grau de prioridade de risco .....                              | 42 |
| Tabela 11 - Classificação dos graus de risco .....                         | 43 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Análise de falha e avaliação de risco do truck motriz.....               | 44 |
| Quadro 2 - Análise de falha e avaliação de risco do truck livre.....                | 44 |
| Quadro 3 - Análise de falha e avaliação de risco do motor elétrico de indução ..... | 45 |
| Quadro 4 - Análise de falha e avaliação de risco do redutor de velocidade.....      | 45 |
| Quadro 5 - Ações recomendadas para os equipamentos com grau de risco elevado .....  | 47 |
| Quadro 6 - Recomendações periódicas de manutenção .....                             | 48 |

## SUMÁRIO

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                         | <b>14</b> |
| 1.2 OBJETIVOS .....                                                               | 15        |
| 1.2.1 Objetivo Geral .....                                                        | 15        |
| 1.2.2 Objetivos Específicos.....                                                  | 15        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....                                                           | 15        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                | <b>17</b> |
| 2.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....                                                      | 17        |
| 2.1.1 Manutenção Corretiva .....                                                  | 18        |
| 2.1.2 Manutenção Preventiva .....                                                 | 20        |
| 2.1.3 Manutenção Preditiva.....                                                   | 20        |
| 2.2 GESTÃO DE RISCO.....                                                          | 21        |
| 2.3 ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS (FMEA).....                              | 22        |
| 2.3.1 História do FMEA.....                                                       | 24        |
| 2.3.2 Tipos de FMEA.....                                                          | 25        |
| 2.3.3 Aplicação da FMEA na Manutenção .....                                       | 27        |
| <b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>                                        | <b>31</b> |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA .....                                    | 31        |
| 3.1.1 Local de Desenvolvimento do Trabalho .....                                  | 31        |
| 3.1.2 Diagrama Organizacional do Sistema .....                                    | 34        |
| 3.1.3 Apresentação dos Equipamentos .....                                         | 35        |
| 3.2 PROCESSO DE MANUTENÇÃO .....                                                  | 37        |
| 3.2 Definição de Critérios para Geração do Grau de Prioridade de Risco (RPN) .... | 40        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                            | <b>43</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                | <b>49</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                          | <b>51</b> |
| <b>APÊNDICE A - ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA .....</b>                      | <b>53</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o mercado cada vez mais competitivo, as empresas tendem evoluir no sentido de elaborar processos produtivos mais eficientes, com maior qualidade e menores custos. Esse avanço é impulsionado pelo crescimento exponencial da tecnologia, ao passo que surgem inovações em equipamentos mais modernos e sistemas mais automatizados, modificando o nível das operações e serviços prestados. Independentemente da área de atuação de uma indústria ou empresa, sabemos como a qualidade está sempre atrelada ao fator resultado. Afinal, quem faz melhor que os concorrentes, tem um enorme diferencial competitivo.

As empresas buscam cada vez mais pela redução dos custos. Entretanto, para alcançar tal objetivo é fundamental que se tenha um bom planejamento das suas máquinas e equipamentos. Embora seja uma prática comum em algumas empresas, ignorar a necessidade de um planejamento de manutenção é um grande erro que pode comprometer a sua produtividade, a segurança dos seus funcionários e traz gastos desnecessários com peças de reposição.

Hoje em dia, a aplicação de um bom planejamento durante a fase de desenvolvimento do processo de um determinado produto vem sendo o ponto diferencial das empresas para permanecerem competitivas no mercado. O plano de manutenção tem como principal objetivo minimizar os impactos de eventos não planejados em segurança.

Para auxiliar nesta atividade, existem metodologias capazes de analisar criteriosamente todas as fases do processo, destacando problemas até então não percebidos pela equipe responsável por esta implantação. A principal ferramenta de confiabilidade que serve como meio para alcançar e sustentar metas do setor de manutenção é a Análise de Modo e Efeitos de Falha, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), é um dos métodos da qualidade mais eficazes já criados até o momento e que vem se tornando indispensável durante o planejamento e implantação de um novo produto. (MARTINS, 2012).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2010), existem dois tipos básicos do método FMEA, são eles: o DFMEA (FMEA de Projeto, do inglês *Design FMEA*) e o PFMEA (FMEA de Processo, do inglês *Process FMEA*). Cada um dos tipos apresentados possui diferentes funções. A DFMEA identifica potenciais modos de falha supondo que a fabricação atenda os requisitos de projeto (peça conforme), já a PFMEA identifica potenciais modos de falha supondo que o projeto atenda a aplicação final (projeto correto). Este último método será

utilizado como base para estudo de caso deste trabalho, que tratará da análise de falhas potenciais nos equipamentos estudados no Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB), conhecido popularmente como Porto Ilha. Ele que servirá de base para que possamos montar nossos planos de manutenção preventiva, preditiva, lubrificação e inspeções.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo, a partir da elaboração e apresentação da metodologia FMEA (Análise Modos e Efeitos das Falhas), propor um conjunto de estratégias de manutenção, com a finalidade de auxiliar a tomada de decisões do setor de manutenção de equipamentos responsáveis pelo deslocamento transversal do Descarregador de Barcaça do Porto-Ilha, um terminal salineiro *offshore*, situado a 14 milhas náuticas da costa do município de Areia Branca/RN.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foi elaborado os seguintes objetivos específicos:

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

## 1.3 JUSTIFICATIVA

As perdas de produção referentes à quebra de equipamentos e/ou processos deficientes estão entre os problemas mais agravantes e de maior atenção nos mais diversos ramos industriais. Por esse motivo, conhecer e utilizar métodos que se apresentam como soluções são de extrema importância para garantir continuidade operacional e confiabilidade.



Durante a experiência como estagiário no departamento de manutenção da EVS Engenharia, empresa responsável pelas operações de manutenção dos ativos do Terminal Salineiro, gerido até então pela Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN), foi possível observar o cotidiano da atividade de manutenção mecânica bem como identificar a necessidade de implementar melhores estratégias em busca de ampliar a disponibilidade de alguns equipamentos bem como a sua confiabilidade.

Como exemplo, as falhas e desgastes ocasionados nos equipamentos que são responsáveis pelo deslocamento de toda estrutura que realiza o descarregamento do sal marinho para o terminal, resultam em interrupções repentinas não programadas. O Porto Ilha opera com três descarregadores de barcaças, e a parada de um ou mais, provoca o desabastecimento do sal no estoque.

Para evitar essas paralisações indesejadas, é fundamental entender os motivos que levam a esse cenário e o que se pode fazer para preveni-los. Dentre os diversos métodos de análise de falhas, tem-se a FMEA, que é aquela que melhor se ajusta ao estudo dos modos de falha no processo de descarregamento de navios do Porto Ilha, por ser uma análise focada nos modos de falha dos equipamentos e seus efeitos, identificado e avaliando sistematicamente a origem dessas falhas, suas consequências e propondo ações que poderão ser tomadas para a mitigação dos riscos levantados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo irá apresentar os conceitos essenciais que para o entendimento do desenvolvimento desse trabalho, dentre estes conceitos estão, os tipos de manutenção, a apresentação de algumas ferramentas de análise de riscos, em especial, a Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA). Na qual, será realizado um breve apanhado sobre o seu conceito, história, tipologia e aplicabilidade.

### 2.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

De acordo com Moro e Auras (2007), os mais variados tipos de manutenção estão atrelados a falhas e defeitos, seja para prevenir ou corrigir que aconteçam. Essa atividade é realizada em equipamentos para garantir a qualidade nos mais variados setores. A importância desse processo ainda está diretamente relacionada aos custos de uma operação.

Quando um equipamento apresenta falha na operação, é preciso buscar a correção desse problema. Essa ação é chamada de manutenção corretiva e pode ser classificada em diferentes subdivisões. Tende a ser uma opção mais custosa pois normalmente só ocorre após a falha do ativo, resultando muitas vezes na interrupção temporária do seu funcionamento. Deste modo a realização de uma manutenção constante resulta em praticidade, economia e prevenção do incômodo causado pela suspensão das atividades. Mas para que a manutenção seja ainda mais eficaz, é preciso avaliar qual o tipo de manutenção mais indicado para a situação. Entendendo melhor as diferenças entre elas, fica mais fácil a decisão de qual tipo será a melhor opção (WILLICH, 2022).

Segundo Willich (2022), é necessário conhecer os tipos de manutenções para ser para elaboração de um plano de manutenção. Tendo como principal função prolongar a vida útil do equipamento ou máquinas ao máximo, levando em conta também seu desempenho. O autor lista alguns pontos fundamentais, como:

- **Criticidade:** se a parada do seu equipamento vai ter um impacto muito grande para sua empresa ou serviço, o nível de criticidade é alto; é o caso de maquinários agrícolas que, se não estiverem operando corretamente, prejudicam a colheita. Já equipamentos como celulares, que normalmente são usados individualmente e podem ser substituídos por outros aparelhos, têm baixo grau de criticidade;

- **Vida útil:** um equipamento com vida útil curta tem necessidades de manutenção diferentes de ativos que são esperados que funcionem por muito tempo, como elevadores (longa vida útil) e lâmpadas (curta vida útil);
- **Orçamento:** aqui depende mais da sua empresa do que do ativo. Algumas manutenções são mais caras do que outras, por isso leve esses pontos em consideração ao elaborar o orçamento da sua empresa;
- **Frequência:** a frequência da manutenção está relacionada às necessidades de cada equipamento. Alguns aparelhos necessitam de manutenção periódica, outros não.

Cada tipo de manutenção apresenta uma proposta específica, e deve ser analisado por um gestor ou técnico, mas também deve-se levar em consideração a indicação do fabricante do ativo. Willich (2022) separa, na Tabela 1 qual o tipo de manutenção mais indicado conforme os pontos citados.

Tabela 1 – Tipos de manutenção indicadas

|             | Corretiva  | Preventiva  | Preditiva |
|-------------|------------|-------------|-----------|
| Criticidade | Alta/Média | Média/Baixa | Alta      |
| Vida útil   | Longa      | Longa/Curta | Longa     |
| Orçamento   | Alto/Médio | Médio/Baixo | Alto      |
| Frequência  | Média      | Alta        | Baixa     |

Fonte: Willich (2022)

### 2.1.1 Manutenção Corretiva

De acordo com Willich (2022), a manutenção corretiva é a mais antiga, menos complexa e mais cara das manutenções, pois normalmente só ocorre após a falha do ativo, resultando muitas vezes na interrupção temporária do seu funcionamento. Ela, visa corrigir os problemas que podem prejudicar o desempenho das máquinas. Por exemplo: falhas nos maquinários, acidentes, quedas, quebras, erros na operação, entre outros fatores. O objetivo principal da Manutenção Corretiva é devolver o pleno funcionamento do equipamento. Ou seja, voltar a produzir. Por isso, ela deve ser realizada de forma rápida e eficaz, seja reparando ou substituindo uma peça, para que a empresa retome as atividades e volte a produzir o quanto antes. Willich (2022) divide a manutenção corretiva em quatro tipos.

- Manutenção corretiva planejada

É um plano de ação vindo de uma inspeção anterior que detectou um problema e identificou a necessidade de correção, levando a um novo agendamento para a execução do reparo. Aqui não o reparo não precisa ser feito imediatamente. Não se deve confundir a manutenção corretiva planejada com manutenção preventiva, a primeira é usada quando o problema já foi identificado e precisa ser resolvido, enquanto a segunda é para prevenir um problema que ainda não apareceu.

- Manutenção corretiva não planejada

A manutenção corretiva não planejada é indicada para resolver uma emergência detectada durante a operação, por isso é mais cara. Esse tipo de manutenção geralmente envolve o desligamento do equipamento até que a falha seja corrigida, resultando em prejuízo para a empresa. Por isso, o ideal é que seus equipamentos recebam manutenção preventiva e preditiva, diminuindo a necessidade de manutenção corretiva não planejada.

- Manutenção corretiva paliativa

Já esta não é uma manutenção definitiva, atua apenas como um quebra-galho, realizando apenas os reparos necessários para que o ativo volte a funcionar, porém de maneira provisória. Com a manutenção paliativa, ainda há a necessidade de uma nova manutenção futuramente.

- Manutenção corretiva definitiva ou curativa

Após o conserto provisório, deve-se agendar uma nova visita técnica para finalizar a manutenção, resolvendo de vez o problema apresentado. Por exemplo, um coletor de poeira cujo fluxo de aspiração diminui devido à obstrução dos filtros. O mesmo não impedirá em nada o processo, apenas há o risco de acúmulo de poeira e de depósitos devido à falha na aspiração. A manutenção corretiva curativa consiste em substituir os filtros para conferir à máquina novamente sua depressão inicial com o objetivo de executar seu trabalho.

### **2.1.2 Manutenção Preventiva**

Conhecida também como manutenção programada ou planejada, o principal objetivo da manutenção preventiva é diminuir a probabilidade de falhas futuras. Através da aplicação de critérios estatísticos, recomendações do fabricante e conhecimento práticos sobre o equipamento, é estabelecido um programa de inspeções e intervenções com intervalos fixos. A vantagem deste tipo de manutenção, é que as operações de paradas são pré-definidas, permitindo uma gerência adequada da produção (MELO,2022).

Através dessa manutenção, é possível evitar o surgimento do problema, reduzindo a necessidade por manutenções corretivas. Ela é periódica, ou seja, segue um prazo previamente estabelecido para determinar quando deve ser feita uma vistoria com o objetivo de prevenir possíveis defeitos. Segundo Willich (2022), a manutenção preventiva pode ser classificada de duas formas diferentes.

- Manutenção preventiva baseada no uso (UBM)

Quando o equipamento foi utilizado por um determinado número de vezes ou horas, ele deve receber a manutenção preventiva baseada no uso. É o que ocorre com máquinas que precisam de revisão após um determinado número de ciclos funcionando, por exemplo.

- Manutenção preventiva baseada no tempo (TBM)

Esse tipo de manutenção leva em consideração o tempo de uso do equipamento, de modo que uma vistoria deve ser agendada de modo periódico. Por exemplo, o ar-condicionado, que deve ser avaliado em intervalos de 6 a 12 meses para garantir seu funcionamento adequado independentemente da quantidade de vezes que o aparelho tenha sido usado.

### **2.1.3 Manutenção Preditiva**

De acordo com Melo (2022), neste tipo de manutenção, as inspeções periódicas se limitam a monitoração de parâmetros que possam indicar o estado operacional de um sistema ou equipamento. Se da análise desses parâmetros se concluir a existência de um funcionamento não adequado, estima-se a tendência evolutiva do defeito e programa-se uma

parada de correção. Escolher a execução da manutenção preditiva significa que se intervirá sobre uma máquina de forma condicional, isto é, unicamente se os parâmetros de controle evoluírem de forma significativa a monitoração de parâmetros que possam indicar o estado operacional de sistema ou equipamento. As técnicas mais utilizadas na manutenção preditiva são análise de vibração, termografia, análise de óleo e emissão acústica.

Diferente da manutenção preventiva, que é feita de acordo com o tempo ou uso, na manutenção preditiva o equipamento é monitorado constantemente, de forma manual ou automática, e só é realizada alguma interferência caso algum indicador esteja fora do padrão. Willich (2022) divide a manutenção preditiva em sensitiva e monitorada.

- Manutenção preditiva sensitiva

Na manutenção sensitiva, o técnico usa seus sentidos naturais, visão, olfato, audição e tato, para identificar falhas de funcionamento. Isso significa prestar atenção a ruídos incomuns, odores estranhos, variação de temperatura e outros sinais de defeito. Os resultados da manutenção preditiva sensitiva devem ser aliados a outros dados para obter um diagnóstico confiável.

- Manutenção preditiva monitorada

Diferente da manutenção sensitiva, a manutenção preditiva monitorada não exige a presença do técnico no local, ela é feita com sensores que monitoram o funcionamento da máquina e enviam esses dados para análise por relatório.

## 2.2 GESTÃO DE RISCO

De acordo com a Norma ISO 9001 (2015), o risco pode ser definido como o efeito da incerteza conseguindo ser positivo ou negativo. Logo, a mentalidade de risco diz respeito a forma como a organização enxerga os efeitos que podem ser oriundos de diferentes situações. Deste modo, a gestão de risco é um processo que visa identificar, analisar e planejar ações a fim de evitar situações indesejadas ou potencializar oportunidades.

Sabemos que existem empresas que estão dispostas a aceitarem riscos passivamente, no entanto, existem outras que buscam criar uma vantagem competitiva pela exposição a riscos de forma segura e fundamentada.

Segundo Ruppenthal (2013), o gerenciamento de riscos é definido como um processo formal em que as incertezas presentes são sistematicamente identificadas, analisadas, estimadas, categorizadas e tratadas. Ela é constituída por cinco passos básicos:

- Identificação e documentação de riscos;
- Análise e priorização;
- Preparação de um plano de ações;
- Monitoramento e controle do plano;
- Realização de auditorias e revisões.

Existem diversas ferramentas propostas para análise de riscos, por exemplo: A Análise Preliminar de Riscos (APR), a Análise da Operabilidade de Perigos (HAZOP) e a Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA).

Ruppenthal (2013) define essas ferramentas como:

- APR: Uma análise do tipo qualitativa de especial importância na investigação de sistemas inovadores e/ou pouco conhecidos, ou seja, quando a experiência em riscos na sua operação é carente ou deficiente.
- HAZOP: Uma técnica utilizada para analisar qualitativamente linhas de processos, com intuito de identificar perigos e prevenir riscos.
- FMEA: Uma ferramenta que busca evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo.

Dentre as ferramentas de análise de riscos citadas, a FMEA foi o método aplicado neste estudo.

### 2.3 ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS (FMEA)

FMEA é a sigla abreviada de *Failure Modes and Effects Analysis*, que significa Análise Modos e Efeitos das Falhas. Ela foi uma das primeiras técnicas altamente estruturadas e sistematizadas para análise de falhas. Foi desenvolvido por engenheiros americanos de

confiabilidade para estudar problemas que poderiam surgir de avarias nos sistemas militares (TELES 2017).

De acordo com Teles (2017), a utilização da ferramenta FMEA é, na maioria das vezes, o primeiro passo de um estudo de confiabilidade do processo. Abrangendo a revisão do maior número de componentes, montagens e subsistemas para identificar os modos de falha, suas causas e efeitos. Sendo assim, para cada componente ou equipamento do processo, os modos de falha e seus efeitos resultantes no resto do sistema são registrados em uma planilha de FMEA específica.

Teles (2017) define o FMEA como uma ferramenta de análise qualitativa, que transforma as informações em dados quantitativos. Durante a elaboração do plano de manutenção, o FMEA é uma das ferramentas mais importantes a serem usadas, por três motivos básicos:

1. Determinação dos modos de falha: que podem vir da engenharia (hipótese) ou então do campo.
2. Análise de riscos de cada modo de falha: iremos detalhar mais abaixo, mas a priorização de qual modo de falha trabalha passa por 3 etapas: determinação da severidade da falha (quão ruim vai ser se ela acontecer), determinação da ocorrência da falha (quão frequentemente ela de fato ocorre) e determinação da probabilidade de detecção da falha (o quão fácil é percebermos que ela ocorreu).
3. Cálculo do RPN (*Risk Priority Number*): esse indicador é uma maneira de sabermos qual modo de falha começar a calcular primeiro. Esse cálculo é a multiplicação dos valores de ocorrência, severidade e detecção.

A execução bem sucedida de um FMEA ajuda na identificação de possíveis modos de falha baseados na experiência com processos similares ou baseados na física comum da lógica de falha. Sendo vastamente aplicado em indústrias de desenvolvimento e fabricação em várias fases do ciclo de vida do produto. A análise de efeitos remete ao estudo das consequências dessas falhas em diversos níveis do sistema.



### 2.3.1 História do FMEA

A Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos é a tradução empregada pela Associação Brasileira de Norma Técnicas na norma NBR 5462 (1994), para a sigla originária do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*).

Pedrosa (2014) relata que, a FMEA foi a primeira metodologia para análise de falhas e equipamentos, desenvolvida pelo Exército Americano no ano de 1949 durante um procedimento militar (MIL-P1629) e intitulado de *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*, que significa, Procedimentos para Realização de Análises do Modo, Efeitos e Criticidade da Falha.

O FMEA teve sua origem nos Estados Unidos no dia 9 de novembro de 1949, como um padrão para as operações militares - *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (Military Procedure MIL-P-1629)*. Esta norma foi utilizada como uma técnica de avaliação da confiabilidade para determinar os efeitos nos sistemas e falhas em equipamentos. As falhas foram classificadas de acordo com seus impactos nos sucessos das missões e com a segurança pessoal/equipamento (SAKURADA, 2001, p.1).

Segundo Pedrosa (2014), esse método era utilizado pelo Exército dos EUA como técnica de avaliação da fiabilidade para apontar o efeito das falhas em um sistema ou equipamento. As falhas eram classificadas de acordo com o seu impacto no sucesso da missão e na segurança do pessoal e equipamento.

No decorrer da década de 60, a FMEA foi desenvolvida e implementada na indústria aeroespacial pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), que utilizou variações da ferramenta desenvolvida pelos militares como solução as suas compreensíveis condições de fiabilidade. No ano de 1966 a NASA utilizou a FMEA no desenvolvimento da missão espacial Apollo, com o objetivo de minimizar falhas em equipamentos que ficariam impossibilitados de ser reparados após lançamento e que contribuíam para problemas de fiabilidade do sistema e segurança da tripulação (PEDROSA, 2014).

Saxer (2015) relata que, depois da aplicação do FMEA no setor espacial, ela foi empregada na tecnologia nuclear no ano de 1975. Logo após, em 1977, passou a ser utilizada de forma mais ampla na indústria automobilística, a exemplo da Ford Motors Company, que incorporou a FMEA em seu conceito de garantia da qualidade na fabricação de automóveis.

Após a adoção da FMEA, a Ford conquistou a maior credibilidade e fiabilidade no mercado automobilístico.

De acordo com Pedrosa (2014), a ISO (*International Organization for Standardization*) desenvolveu a norma ISO 9000 no ano de 1988. Na qual os requisitos desta norma forçaram as organizações a desenvolver sistemas de gestão de qualidade que idealmente estão focados nas necessidades, exigências e expectativas dos consumidores. A QS 9000 (é a analogia da ISO 9000 para a Indústria Automóvel). A QS 9000, análoga a ISO 9000 para indústria automobilística, foi desenvolvida com o objetivo de normalizar os sistemas de qualidade dos fornecedores, sendo fruto de um grupo de trabalho representado pela Ford Motor Company, General Motors Corporation e Chrysler Corporation. De acordo com esta norma, os fornecedores da indústria de automóvel devem aplicar uma FMEA de processo e de produto, além de desenvolver planos de controle.

Em 1993, a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) publicou uma norma da FMEA para a indústria automóvel. No ano posterior, em 1994 a SAE (*Society of Automotive Engineers*) publicou a norma SAE J1739, na qual definiu forma como a FMEA deve ser produzida. Ela foi difundida na indústria automotiva com o surgimento da QS 9000. Em 2006 a norma QS 9000 foi substituída pela ISO TS 16949, que propiciava traços gerais para a realização de uma FMEA (MARTINS, 2012).

Analisando a história do FMEA, é possível perceber que ao longo dos anos seu impacto foi sendo cada vez maior, devido a uma maior importância do conceito de qualidade, de tal maneira que, foi surgindo normas mais exigentes em benefício de produtos mais eficientes e mais robustos. Do mesmo modo, nos dias atuais, o FMEA apresenta-se como uma poderosa ferramenta de apoio que faz parte da estratégia da maioria dos grandes grupos empresariais a nível mundial, que queiram competir por bons resultados.

### **2.3.2 Tipos de FMEA**

De modo geral, os tipos de FMEA possuem a mesma natureza e objetivo, que seria analisar os modos e efeitos das falhas. O que diferencia um tipo do outro é o direcionamento da ferramenta no momento da análise. Ela pode ser classificada em vários tipos, que irá depender do objeto que será estudado, como mostra a Tabela 2. Stamatis (2003) classifica o FMEA em quatro tipos, como:

Tabela 2 - Tipos de FMEA

| FMEA de Sistema<br>SFMEA            | FMEA de Projeto<br>DFMEA                                                                                         | FMEA de Processo<br>PFMEA                              | FMEA de Serviço<br>SFMEA                   |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Foca nas funções globais de sistema | Foca nas falhas que poderão acontecer nas especificações do projeto/produto focando em componentes e subsistemas | Foca nas falhas do planejamento e execução do processo | Foca em processos de manufatura e montagem |

Fonte: Autor, adaptado de Stamatis (2003)

- FMEA de Sistema:** Enfoca os modos potenciais de falha entre as funções do sistema, causada por algumas deficiências do sistema. Ele inclui a interação entre os sistemas e os elementos do sistema. A FMEA de Sistema consiste na análise de sistemas e subsistemas durante a fase de concessão e de projeto. O foco principal desta análise consiste na identificação dos potenciais modos de falha do sistema em relação às suas funcionalidades e no atendimento das expectativas dos clientes, ou seja, está diretamente ligada à percepção do cliente em relação ao sistema. Inclui-se também a identificação dos potenciais modos de falha na interação de múltiplos sistemas e interação entre os elementos de um sistema em fase de concessão.
- FMEA de Produto/Projeto:** É usado para analisar produtos antes que eles sejam liberados para a manufatura. A FMEA de Produto/Projeto realiza a análise a um projeto de um produto (máquinas, ferramentas, componentes), antes de ser enviado para a produção, devendo, no entanto, o produto ser analisado durante toda a sua vida útil. A mesma centra-se em potenciais modos de falha de projeto, causados pela escolha de material incorreta, especificações inadequadas entre outras deficiências de projeto, que podem resultar num mau desempenho do produto ou num ciclo de vida útil curto. Está diretamente ligada à capacidade do projeto corresponder aos objetivos previamente definidos, e à garantia de que o produto tem as condições necessárias para ser produzido. Este tipo de FMEA esclarece a necessidade de alterações no projeto do produto, estabelece prioridades para as ações de melhoria, auxilia na definição de testes e validação do produto, na identificação de características críticas e na avaliação dos requisitos e alternativas do projeto. É uma ferramenta bastante útil que pode ser usada para analisar as etapas do projeto (projeto preliminar, protótipo ou projeto final), ou inclusivamente pode ser usada em produtos já em produção. São normalmente feitas ao nível do sistema, subsistema e ao nível de componentes.
- FMEA de Processo:** É usado para analisar os processos de manufatura e montagem. O FMEA de processo efetua a análise a um processo de fabrico e montagem ao nível

de um sistema subsistema ou componente. Esta centra-se em potenciais modos de falha que tenham como origem deficiências do processo de montagem e excessivas variações no processo de fabrico. Está ligada à capacidade do processo em cumprir os seus objetivos, para atingir a conformidade do produto. Este tipo de FMEA define as necessidades de alterações no processo, estabelece prioridades para as ações de melhoria, auxilia na execução do plano de controlo do processo e na análise dos processos de fabrico e montagem. Esta ferramenta é útil para estudar como as etapas de um processo podem influenciar o projeto de uma máquina, incluindo a seleção dos seus componentes.

- **FMEA de Serviço:** É usado para analisar serviços antes que eles alcancem o cliente. O FMEA de serviço é uma variação do FMEA de processo. Enfoca os modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados pelas deficiências do sistema ou processo. As aplicações são diversas, sendo que se pode destacar o caso de contratos de manutenção, instituições financeiras, escritórios de advocacia, organizações que lidam com questões de segurança, todos os contratos de engenharia, indústria do turismo, instituições educacionais e governamentais.

Já outros autores dividem o FMEA em três categorias, como: sistema, produto/projeto e processo. Porém, o número de categorias mais comum nas literaturas são dois tipos de FMEA, o de produto/projeto e de processo.

### 2.3.3 Aplicação da FMEA na Manutenção

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

A Figura 1 mostra um exemplo prático do FMEA aplicado em uma atividade de manutenção. Nesse caso, pode-se perceber que relubrificar os rolamentos da caixa de engrenagens do robô da linha de produção preveniriam a parada de toda a linha de produção.

Figura 1 - FMEA de processo para manutenção



Fonte: Teles (2017)

O plano de manutenção tem como principal objetivo minimizar os impactos de eventos não planejados em segurança, meio ambiente e rentabilidade comercial. A principal ferramenta de confiabilidade que serve como veículo para alcançar e sustentar metas do setor de manutenção é o FMEA (TELES, 2017).

Uma FMEA bem feita e bem implementada gera diversos benefícios para o setor de manutenção, dentre eles:

- Redução dos Custos de Manutenção;
- Elevação dos níveis de segurança das instalações;
- Redução de atividades que não tem valor agregado;
- Melhoria na qualidade dos serviços realizados;
- Elevação dos níveis de confiabilidade;
- Redução do tempo médio entre falhas dos equipamentos.

Segundo Pedrosa (2014), o momento ideal para a realização de uma FMEA é um dos fatores mais importantes para a sua elaboração, o método deve ser aplicado antes de um modo de falha de um projeto ou processo, seja incorporado no produto sem ter sido percebido. A elaboração da FMEA numa fase inicial do projeto ou processo, as alterações podem ser implementadas com maior facilidade e com custos menores, diminuindo eventuais crises

provocadas por alterações tardias. Em teoria quando aplicada corretamente é um processo interativo que nunca acaba, ou seja, é suscetível de sofrer constantes alterações e atualizações.

Atualmente existem diversas ferramentas específicas para elaborar a FMEA, mas, um simples programa de planilha conseguirá atender muito bem as necessidades. Uma vez que os princípios básicos e boas práticas para elaboração do FMEA foram levados em consideração. Conforme Teles (2017), antes da elaboração do FMEA, temos que definir alguns termos comuns que serão usados:

- Falha: Perda de função ou performance do equipamento quando ela se faz necessária.
- Modo de Falha: A forma como a falha se apresenta no processo (sintoma).
- Efeito da falha: Impacto ou consequência que a falha traz ao processo.
- Ocorrência de falha: Quantas vezes isso já aconteceu ou tem probabilidade de acontecer.
- Severidade de falha: O quão grave e severa é a falha.
- Detecção de falha: Qual a possibilidade de encontrar essa falha antes que ela ocorra.
- RPN: É o valor do risco calculado que fica associado ao modo de falha. Esse valor é a multiplicação dos níveis de ocorrência, severidade e detecção.

Rodrigues *et al* (2010) relata que, deve-se conhecer primeiro as funções, requisitos e especificações do equipamento. E a partir dos dados de entrada, como desenhos e fluxos de processo, é necessário relacionar todos os modos de falhas que possam ocorrer em cada etapa, como mostra a Tabela 3. Para cada modo de falha encontrado, deve-se relacionar as possíveis causas para a sua ocorrência e os possíveis efeitos.

Tabela 3 - Exemplo de requisitos e modos de falha da FMEA de projeto

| Requisitos                                   | Modos de falha                                                                            |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aquecer até 950 °C                           | Temperatura abaixo do especificado                                                        |
| Usinar espessura 8,5 mm                      | Espessura fora do especificado                                                            |
| Facear com rugosidade Ra 3,2                 | Rugosidade acima do especificado                                                          |
| Paralelismo 0,12 mm                          | Arestas com rebarba, furo fora de posição, diâmetro maior que especificado, sujo, rachado |
| Montar 4 parafusos na sequência especificada | Montar parafusos fora da sequência especificada                                           |
| Compactar molde em areia verde               | Permeabilidade da areia abaixo do especificado                                            |

Fonte: Autor, adaptado de Rodrigues *et al* (2010)

Após a identificação dos modos de falha, efeitos, causas e controles de prevenção e de detecção, será necessário definir a severidade, a ocorrência e a detecção. Rodrigues *et al* (2010) descreve a severidade como o resultado do efeito, onde a situação na operação que sente o efeito potencial da falha; a ocorrência como a probabilidade da falha acontecer, considerando os controles de prevenção quando existentes; e a detecção como a probabilidade de se detectar o modo de falha.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo o embasamento teórico anteriormente fundamentado, o presente capítulo, tem a finalidade de apresentar as etapas deste trabalho, bem como a empresa alvo do estudo. O trabalho caracteriza-se por uma combinação entre evidências qualitativas e quantitativas. O desenvolvimento do formulário FMEA será feito a partir da coleta de dados baseada em entrevistas com equipe de manutenção, observações em campo, banco de dados de histórico de falhas, planos de manutenção documentados e revisão de literaturas técnicas.

Sendo assim, foi realizada a codificação desses dados, de maneira a permitir o desenvolvimento de análises estatísticas sobre as informações. As etapas descritas e utilizadas na condução do trabalho, ilustradas na Tabela 4 foram baseadas segundo Siqueira (2012), para aplicação do FMEA.

Tabela 4 - Etapas da metodologia

|                |                                                                                          |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PASSO 1</b> | Definição do local e sistema a ser analisado.                                            |
|                | Mapear os subsistemas e componentes principais desse sistema.                            |
|                | Iniciar preenchimento da tabela FMEA com função, falha, modo de falha, efeitos e causas. |
| <b>PASSO 2</b> | Definição de critérios para geração do grau de prioridade de risco.                      |
| <b>PASSO 3</b> | Revisão e criação estratégica.                                                           |

Fonte: Autor, adaptado de Siqueira (2012)

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA

##### 3.1.1 Local de Desenvolvimento do Trabalho

De acordo com a CODERN (2021), o Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB), conhecido popularmente como Porto-Ilha, ilustrado pela Figura 2, é uma estrutura artificial, fixada em mar aberto distante 26 km a nordeste de Areia Branca/RN, e a 14 km em linha reta da costa do estado, como mostra a Figura 3. Este foi construído entre os anos de 1969 e 1974, com a finalidade de que, por meio dele, fosse realizado o escoamento de sal a granel provindo das salinas do Rio Grande do Norte, para suprimento da indústria química do Brasil.

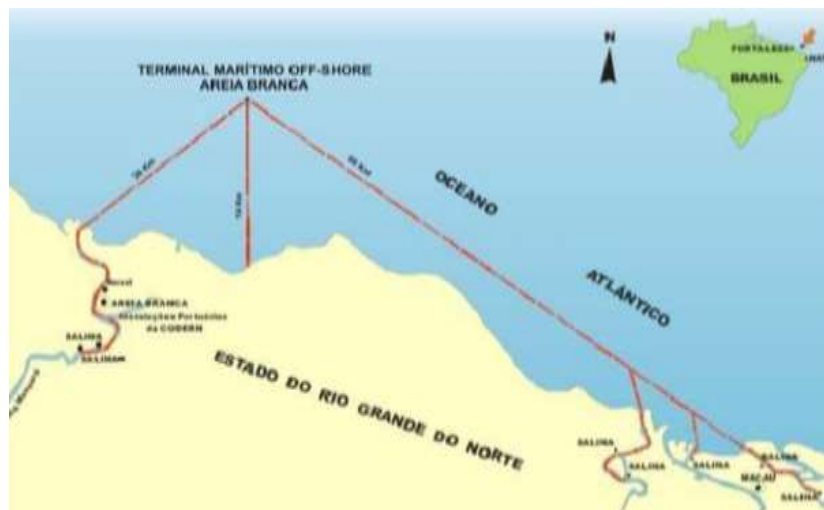


Figura 2 - Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB)



Fonte: CODERN (2021)

Figura 3 - Localização do Terminal Salineiro de Areia Branca (TERSAB)



Fonte: CODERN (2021)

Os equipamentos utilizados no Porto-Ilha são divididos em equipamentos de recebimento de sal, equipamentos para movimentações no pátio e equipamentos para a exportação. O sal movimentado no TERSAB vem das salinas da região localizadas nas adjacências do terminal, e o seu transporte é feito através de barcaças, mostrado pela Figura 4.

Figura 4 - Barcaça transportando sal da salina ao terminal



Fonte: Autor

O recebimento do sal das barcaças ocorre através de três guindastes portuários instalado na área do cais, denominado de Descarregadores de Barcaças (DB), com uma caçamba de mandíbula acoplado capturando e suspendendo o sal, com capacidade total instalada de 1.050 t/h, conforme o LabTrans (2015). Os DB's se deslocam sobre trilhos de rolamento instalados sobre o cais, após o descarregamento, o sal pode ser armazenado na ilha, como mostra a Figura 5, ou então, ser diretamente carregado em navios de maior porte.

Figura 5 - Recebimento e armazenamento do sal no pátio de estocagem do Porto-Ilha



Fonte: Autor

Conforme a LabTrans (2015), as operações que envolvem o carregamento de navios, possuem uma esteira contínua com 1,22 metro de largura e 433 metros de comprimento, com capacidade para 2,5 mil t/h e velocidade de movimento de 3,5 m/s. Essa esteira é sustentada por uma estrutura tubular, composta por uma ponte de 398,9 m, dividida em oito vãos, como mostra a Figura 6.

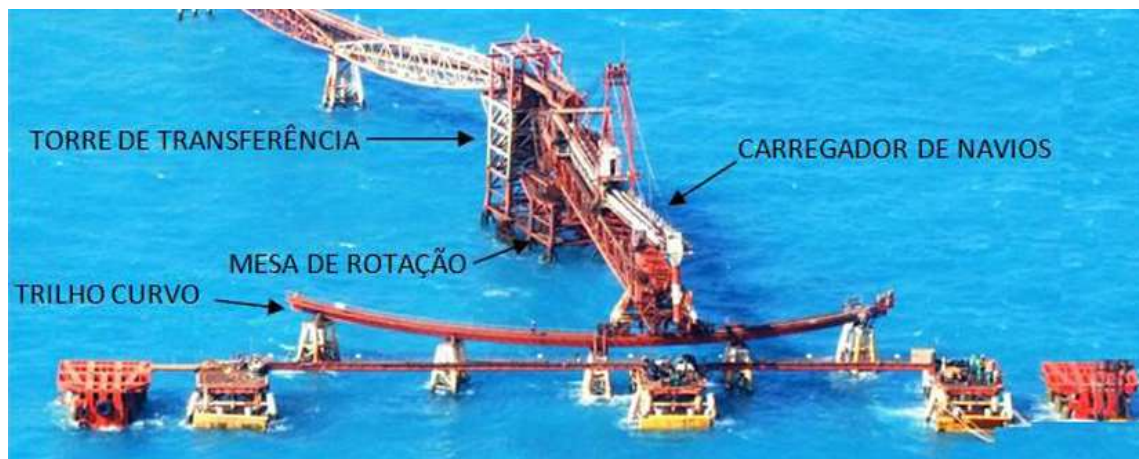
Figura 6 - Esteira transportadora e estrutura de sustentação



Fonte: Autor

Na extremidade da estrutura de sustentação está localizada a torre de transferência, onde se localiza todo o sistema de acionamento da esteira, composto por motor elétrico, redutor, acoplamento e tambores de acionamento e desvio. A Figura 7 ilustra os elementos que compõe o Carregador de Navios (CN), a estrutura suporte do trilho curvo, composta por uma viga curva, cuja parte superior é utilizada para fixação dos trilhos. A curvatura desses trilhos é que determina o movimento giratório do CN (LABTRANS, 2021).

Figura 7 - Componentes do CN



Fonte: LabTrans (2015)

### 3.1.2 Diagrama Organizacional do Sistema

Após a determinação do sistema, foi realizado um estudo referente ao processo, através de visitas presenciais aos equipamentos estudados na oficina de manutenção e em condições de operação no terminal. Foram realizadas consultas de materiais técnicos em

acervos disponibilizados pela empresa e pelo fabricante do equipamento. Basicamente, o sistema de trucks engloba vários componentes que, em geral contribuem para a função principal de realizar a deslocamento transversal da estrutura responsável pelo descarregamento de sal marinho. O passo seguinte foi compreender os subsistemas e componentes que engloba no sistema fundamental determinado. Após essa consulta, construiu-se o esquema da Tabela 5, que foi de grande importância para direcionar os componentes que serão tratados na análise FMEA.

Tabela 5 - Diagrama organizacional do sistema

| Sistema      | Subsistema            | Componente     |
|--------------|-----------------------|----------------|
| Truck motriz | Truck                 | Carcaça        |
|              |                       | Eixos          |
|              |                       | Rodas          |
|              |                       | Buchas         |
|              | Motor elétrico        | Bobina/estator |
|              |                       | Rotor/induzido |
|              |                       | Rolamentos     |
|              |                       | Acoplamento    |
|              | Redutor de velocidade | Engrenagens    |
|              |                       | Rolamentos     |
|              |                       | Retentores     |
|              |                       | Pinhão         |
|              |                       | Acoplamento    |
| Truck livre  | Truck                 | Carcaça        |
|              |                       | Eixos          |
|              |                       | Rodas          |
|              |                       | Buchas         |

Fonte: Autor

### 3.1.3 Apresentação dos Equipamentos

O caso prático em estudo consiste num sistema denominado Truck, localizado na base dos descarregadores de barcaças, como mostra a Figura 8. Esse equipamento é responsável pelo deslocamento transversal do DB sobre um conjunto de trilhos em perfis de aço-carbono. O deslocamento só é possível, graças ao torque oriundo de um motor-redutor, para um conjunto de engrenagens, pinhões e rodas.



Figura 8 - Trucks DB 02



Fonte: Autor

O acionamento do truck conta com um conjunto composto por um motor elétrico de indução (trifásico) e um redutor, ilustrado pela Figura 9. A Tabela 6 traz as especificações do conjunto motor-redutor.

Figura 9 - Motor e redutor utilizados no acionamento do truck



Fonte: Autor

Tabela 6 - Especificações do conjunto motor-redutor

| Motor elétrico Weg W22 |          | Redutor de velocidade |            |
|------------------------|----------|-----------------------|------------|
| Carcaça                | 160 L    | Redução               | 28:1       |
| Potência               | 20 CV    | Rolamentos            | 6218       |
| Tensão                 | 440 VAC  |                       | 6213       |
| Rotação                | 1200 rpm |                       | 6211       |
| Polos                  | 6        |                       | 6036       |
| Rolamentos             | 6209     | Retentores            | 180x210x15 |
|                        | 6309     |                       | 55x75x10   |

Fonte: Autor, adaptado de EVS Engenharia (2022)

O equipamento estudado se encontra no DB-02, que segundo a CODERN (2021), possui 20 metros de altura e uma capacidade de descarregamento de 350 toneladas por hora. O descarregador de barcaça possui 4 conjuntos de trucks na base de sua estrutura. Cada conjunto possui uma combinação contendo um truck motriz, com giro motorizado das rodas, proporcionando o movimento do DB, e mais um truck livre com rodas movidas, ajudando no deslocamento, sustentação e estabilidade da estrutura, ilustrados pela Figura 10.

Figura 10 - Truck motriz e truck livre



Fonte: Autor

### 3.2 PROCESSO DE MANUTENÇÃO

O modelo de manutenção empregado nesses equipamentos seria do tipo corretivo, que corresponde ao processo mais simples e primitivo da manutenção mecânica. Na qual, são realizados procedimentos que são aplicados no equipamento fora de ação ou parcialmente danificado, com a finalidade de tornar apto ao trabalho novamente, no menor espaço de tempo e custo possível.

A correção das falhas pode ocorrer de forma planejada, detectada pela equipe de inspeção do terminal a necessidade de correção, realizando um agendamento para a execução do reparo. Como também pode ocorrer de modo aleatório, ou seja, sem que a ocorrência fosse esperada, provocando em custos mais elevados, pois resulta em paradas no descarregamento e geralmente a ampliação dos danos aos equipamentos são maiores. Esse modelo de manutenção pode estar abrangendo desde a substituição de um simples parafuso de fixação rompido, como substituir todo um sistema que foi danificado.

Um dos principais causadores das falhas e quebras dos maquinários no terminal seria o desgaste por tempo de uso e o desgaste forçado do mesmo. Tornando-se agravado em razão da operação em um meio muito agressivo, onde ocorre a degradação dos equipamentos pela interação com o ambiente salino e abrasão devido ao contato com o sal.

Após a observação de uma considerável perda de eficiência na operação de translação do DB-02, foi atribuída falha em um dos sistemas de trucks. Através da equipe de inspeção foram diagnosticadas e localizadas quebras dos rolamentos, desgaste severo das rodas, excentricidades e folga nas engrenagens. Na qual, foi necessária à retirada dos equipamentos defeituosos para realizar os reparos.

Em vista disso, é necessário realizar um levantamento de como ocorreu a falha, quais foram os sintomas, se a mesma falha já ocorreu em outra ocasião, quanto tempo a máquina operou desde sua última manutenção, quais foram os reparos já realizados, quais foram às condições de serviço em que ocorreu a falha, quais foram os serviços executados anteriormente.

O equipamento danificado é então transportado através de lanchas para as instalações da Gerência do Terminal Salineiro de Areia Branca (GERTAB), em terra, onde estão localizados os setores administrativos, almoxarifado e oficinas, oferecendo infraestrutura de apoio ao terminal. Na oficina de manutenção mecânica, o processo de recuperação se inicia com a retirada de todos os seus componentes dos equipamentos defeituosos, como ilustra a Figura 11.

Figura 11 - Desmontagem do truck motriz e redutor



Fonte: Autor

Após a desmontagem, as carcaças são transferidas para cabine de jateamento para limpeza das superfícies, removendo camadas oxidadas e tintas envelhecidas utilizando granalha de aço, mostrada na Figura 12.

Figura 12 - Jateamento das carcaças



Fonte: Autor

Devido à perda de material ao movimento relativo entre a pista de rolamento (passeio) e a superfície do trilho que estão em contato, é realizado o preenchimento do passeio das rodas através de soldagem por eletrodo revestido E7018. Logo após, as peças passam pelo processo de usinagem, onde é removido o excesso de material soldado com auxílio de uma ferramenta de corte, obtendo-se a pista de rolamento com as formas e dimensões desejadas. Finalizando a etapa com a aplicação de verniz antioxidante protetivo na área recuperada. Processo ilustrado pela Figura 13.

Figura 13 - Processo de recuperação das rodas



Fonte: Autor



A etapa final conta com a substituição dos rolamentos e retentores; limpeza das engrenagens e pinhão; substituição das graxas de lubrificação dos pinos dos trucks, aplicação de tinta anticorrosiva a base de resina poliuretano acrílico alifático. Os componentes uma vez recondicionados, os equipamentos são novamente montados e testados para assegurar a qualidade exigida em seu desempenho, estando apto para operação (Figura 14).

Figura 14 - Equipamentos aptos para operação



Fonte: Autor

### 3.2 Definição de Critérios para Geração do Grau de Prioridade de Risco (RPN)

De acordo com Martins (2012), o Número de Prioridade de Risco (RPN) é uma análise para auxiliar na priorização de ações. Dentro do escopo da FMEA, este valor pode variar entre 1 e 1000. Ele registra o produto dos Índices de Severidade, Ocorrência e Detecção.

A severidade é o resultado do efeito. Avalia a situação na operação que sente o efeito potencial da falha. A partir de conversas com os colaboradores da manutenção, normas e diretrizes estratégicas da organização, foi definida que a severidade seria qualificada pelos os efeitos das falhas na segurança dos colaboradores, danos ambientais, impactos nas operações e custos de manutenção para realizar os reparos, como mostra a Tabela 7. De acordo com Siqueira (2012), as notas para as categorias de severidade podem ser definidas em:

1. Efeito insignificante: falha insuficiente para causar danos aos seres humanos, sistema, meio ambiente e contexto operacional.
2. Efeito mínimo: consequências operacionais, meio ambiente e segurança abaixo dos níveis máximos exigidos em normas ou leis.

3. Efeito marginal: ferimentos leves aos seres humanos ou dano de pequeno porte no sistema ou meio ambiente.
4. Efeito crítico: ferimentos severos aos seres humanos ou dano significativo ao sistema ou ao meio ambiente.
5. Efeito catastrófico: aquele que pode causar morte de pessoas, perda do sistema principal em decorrência de explosões ou incêndios, por exemplo, ou grande dano ao meio ambiente.

Tabela 7 - Critérios de severidade (S)

| Nível | Severidade     | Efeito                                                                      |
|-------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Insignificante | Equipamento sem defeito perceptível                                         |
| 2     | Mínimo         | Equipamento operável, mas com aparência e ruído quase perceptíveis          |
| 3     |                | Equipamento operável, mas com aparência e ruídos relativamente perceptíveis |
| 4     | Marginal       | Equipamento operável, mas com aparência e ruídos perceptíveis               |
| 5     |                | Equipamento operável, mas com desempenho reduzido                           |
| 6     |                | Equipamento operável, mas com desempenho muito reduzido                     |
| 7     | Crítico        | Equipamento inoperável, com perda das funções secundárias                   |
| 8     |                | Equipamento inoperável, com perda das funções primárias                     |
| 9     | Catastrófico   | Afeta a segurança na operação do equipamento com aviso prévio               |
| 10    |                | Afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio               |

Fonte: Autor

Em seguida é realizada a avaliação da ocorrência da falha, na qual, classifica a probabilidade da falha acontecer, considerando os controles de prevenção quando existentes, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Critérios de ocorrência (O)

| Nível | Ocorrência | Efeito                           |
|-------|------------|----------------------------------|
| 1     | Remota     | Chance remota de falhas          |
| 2     | Baixa      | Apresenta falha a cada 5 anos    |
| 3     |            | Apresenta falha a cada 2 anos    |
| 4     | Moderada   | Apresenta falha a cada ano       |
| 5     |            | Apresenta falha a cada semestre  |
| 6     |            | Apresenta falha a cada trimestre |
| 7     | Alta       | Apresenta falha a cada mês       |
| 8     |            | Apresenta falha a cada semana    |
| 9     | Muito alta | Apresenta falha a cada dia       |
| 10    |            | Apresenta várias falhas ao dia   |

Fonte: Autor

De acordo com Pedrosa (2014), para haver a redução efetiva do índice de ocorrência, será necessário eliminar ou controlar um mecanismo de falha através de uma alteração no projeto e/ou processo. O autor relaciona o índice de ocorrência com a probabilidade de ocorrência e não com a ocorrência em si.

O passo posterior é apontar a probabilidade de se detectar o modo de falha em questão, conforme a Tabela 9. Segundo Pedrosa (2014), esse índice consiste em avaliar a eficácia dos controles definidos, em identificar causas e modos de falhas, antes de se dar início à produção do respectivo componente.

Tabela 9 - Critério de detecção (D)

| Nível | Detectabilidade    | Efeito                                         |
|-------|--------------------|------------------------------------------------|
| 1     | Quase certamente   | Detecção muito provável pelo operador          |
| 2     | Muito alta         | Detecção provável pelo operador                |
| 3     | Alta               | Detecção muito provável por inspeção sensitiva |
| 4     | Moderadamente alta | Detecção provável por inspeção sensitiva       |
| 5     | Moderada           | Detecção quase provável por inspeção sensitiva |
| 6     | Baixa              | Detecção muito provável por inspeção preditiva |
| 7     | Muito baixa        | Detecção provável por inspeção preditiva       |
| 8     | Remota             | Detecção quase provável por inspeção preditiva |
| 9     | Muito remota       | Efeito provavelmente não detectável            |
| 10    | Quase impossível   | Sem estratégia de detecção                     |

Fonte: Autor

Após definidos os valores de severidade, ocorrência e detecção deve-se calcular o RPN (Número de Prioridade de Risco). Para isto, basta multiplicar o número de cada um dos critérios, conforme a Equação I, sendo assim possível priorizar as tratativas às falhas com o maior valor de RPN, como mostra a Tabela 10.

$$RPN = S * O * D \quad (I)$$

Tabela 10 - Grau de prioridade de risco

| RPN        | Risco    |
|------------|----------|
| 1 a 100    | Baixo    |
| 101 a 300  | Moderado |
| 301 a 1000 | Elevado  |

Fonte: Autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No âmbito deste estudo será elaborada uma avaliação de riscos ao conjunto de Trucks dos Descarregadores de Barcaças do Terminal Salineiro de Areia Branca/RN, aplicando à metodologia FMEA, usada para identificar falhas, modos de falhas e efeitos com a finalidade de eliminá-las ou reduzi-las. Com o propósito de obter uma informação clara de quais os modos de falha que exige maior atenção para posteriormente se proceder à realização de ações de melhoria, indicando ações recomendadas para que estas falhas fossem eliminadas.

A identificação dos modos falha potenciais do sistema que compõe o Truck foi uma das maiores dificuldades na elaboração do método FMEA deste trabalho, bem como as suas respectivas causas e efeitos. A causa de falha pode ser compreendida como uma deficiência no projeto, cuja consequência é o modo de falha. Para facilitar os esforços de melhoria do projeto foram listadas as principais causas e modos de falhas típicas.

Por fim, na etapa da priorização risco, foi classificado os graus de urgência das falhas baseado nos quadros de avaliação do índice de ocorrência, severidade e detecção de cada modo de falha. Assim, será calculado o RPN (Número de Prioridade de Risco) e as falhas podem ser ordenadas de acordo com a realidade. A partir dessa classificação, foi possível identificar quais os modos de falha necessitam de maior atenção para execução de ações, com a finalidade de reduzir o risco associado a cada uma das falhas, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação dos graus de risco

| Risco    | Grau de urgência                                     |
|----------|------------------------------------------------------|
| Baixo    | Requer medidas de melhoria sem carácter de urgência  |
| Moderado | Requer ações logo que possível para diminuir o risco |
| Elevado  | Requer ação imediata para diminuir o risco           |

Fonte: Autor

Para iniciar a análise da FMEA, foram elaboradas planilhas eletrônicas utilizando o Microsoft Excel, para identificar os modos, efeitos e causas das falhas dos equipamentos que compõem o sistema de deslocamento dos descarregadores de barcaças, bem como a avaliação de risco através dos índices de ocorrência, severidade e capacidade de detecção.

Os Quadros 1, 2, 3 e 4 mostram as análises de falha e avaliação de risco dos equipamentos analisado, que incluem o truck motriz, truck livre, motor elétrico de indução e redutor de velocidade, respectivamente.

Quadro 1 - Análise de falha e avaliação de risco do truck motriz

| Componente  | Análise de Falha             |                                   |                                                                         | Avaliação de Risco |            |         |     |               |
|-------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------|---------|-----|---------------|
|             | Modo de Falha                | Efeitos de Falha                  | Causa de Falhas                                                         | Ocorrência         | Severidade | Deteção | RPN | Grau de Risco |
| Carcaça     | Corrosão                     | Deterioração da carcaça metálica  | Exposição contínua ao meio salino                                       | 6                  | 3          | 1       | 18  | Baixo         |
| Rodas       | Desgaste do passeio          | Perda excessiva de material       | Fricção relativa com o trilho                                           | 6                  | 6          | 2       | 72  | Baixo         |
|             | Desgaste da bucha            | Empenamento das rodas             | Fricção da bucha de bronze com o eixo do truck/lubrificação ineficiente | 6                  | 6          | 6       | 216 | Moderado      |
|             | Ruído e vibração excessiva   | Desgaste e empenamento da coroa   | Regime de trabalho pesado                                               | 5                  | 7          | 7       | 245 | Moderado      |
| Eixo-pinhão | Desgaste no rasgo de chaveta | Folga, vibração e ruído excessivo | Chaveta ou eixo mal dimensionado                                        | 5                  | 6          | 6       | 180 | Moderado      |
|             | Ruído e vibração excessiva   | Desgaste e empenamento            | Sobrecarga e desalinhamento relativo com a coroa da roda                | 4                  | 6          | 7       | 168 | Moderado      |
| Rolamentos  | Vibração excessiva           | Quebra de rolamentos              | Falta de lubrificação, desalinhamento dos eixos e sobrecarga            | 6                  | 8          | 6       | 288 | Elevado       |
| Eixo-pino   | Vibração excessiva           | Empenamento do eixo das rodas     | Sobrecarga e desbalanceamento das rodas                                 | 4                  | 6          | 6       | 144 | Moderado      |

Fonte: Autor

Quadro 2 - Análise de falha e avaliação de risco do truck livre

| Componente | Análise de Falha    |                                  |                                                                         | Avaliação de Risco |            |         |     |               |
|------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------|---------|-----|---------------|
|            | Modo de Falha       | Efeitos de Falha                 | Causa de Falhas                                                         | Ocorrência         | Severidade | Deteção | RPN | Grau de Risco |
| Carcaça    | Corrosão            | Deterioração da carcaça metálica | Exposição contínua ao meio salino                                       | 6                  | 3          | 1       | 18  | Baixo         |
| Rodas      | Desgaste do passeio | Perda excessiva de material      | Fricção relativa com o trilho                                           | 6                  | 6          | 2       | 72  | Baixo         |
|            | Desgaste da bucha   | Empenamento das rodas            | Fricção da bucha de bronze com o eixo do truck/lubrificação ineficiente | 6                  | 6          | 6       | 216 | Moderado      |
| Rolamentos | Vibração excessiva  | Quebra de rolamentos             | Falta de lubrificação, desalinhamento dos eixos e sobrecarga            | 6                  | 8          | 6       | 288 | Elevado       |
| Eixo-pino  | Vibração excessiva  | Empenamento do eixo das rodas    | Sobrecarga e desbalanceamento das rodas                                 | 4                  | 6          | 6       | 144 | Moderado      |

Fonte: Autor

Quadro 3 - Análise de falha e avaliação de risco do motor elétrico de indução

| Componente       | Análise de Falha              |                                         |                                                     | Avaliação de Risco |            |         |     |               |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|------------|---------|-----|---------------|
|                  | Modo de Falha                 | Efeitos de Falha                        | Causa de Falhas                                     | Ocorrência         | Severidade | Deteção | RPN | Grau de Risco |
| Estator          | Curto circuito                | Desarme do motor elétrico               | Falha do material isolante e excesso de temperatura | 5                  | 8          | 7       | 280 | Elevado       |
|                  | Queima da bobina              | Desarme do motor elétrico               | Excesso de temperatura devido à sobrecarga elétrica | 5                  | 8          | 7       | 280 | Elevado       |
| Rotor            | Falha no acionamento          | Variação no giro do redutor             | Folga no acoplamento do redutor                     | 5                  | 5          | 4       | 100 | Baixo         |
|                  | Diâmetro fora das tolerâncias | Folga entre o eixo e o mancal           | Vibração e não transmissão de potência              | 4                  | 6          | 6       | 144 | Moderado      |
| Mancais          | Vibração excessiva            | Desgaste do eixo do mancal              | Travamento do eixo da carga                         | 4                  | 5          | 4       | 80  | Baixo         |
| Tampas           | Desbalanceamento              | Folga nos rolamentos                    | Rolamento travado                                   | 6                  | 5          | 3       | 90  | Baixo         |
| Rolamentos       | Temperatura excessiva         | Perda de eficiência de lubrificação     | Falta de lubrificação                               | 6                  | 6          | 6       | 216 | Moderado      |
|                  | Vibração excessiva            | Sobrecarga                              | Desalinhamento ou folga no eixo                     | 6                  | 6          | 4       | 144 | Moderado      |
|                  | Não rotaciona                 | Rolamento travado                       | Montagem incorreta                                  | 6                  | 7          | 4       | 168 | Moderado      |
| Anéis de vedação | Infiltração de sal            | Desgaste acentuado das partes rotativas | Ressecamento da borracha vedante                    | 6                  | 5          | 3       | 90  | Baixo         |

Fonte: Autor

Quadro 4 - Análise de falha e avaliação de risco do redutor de velocidade

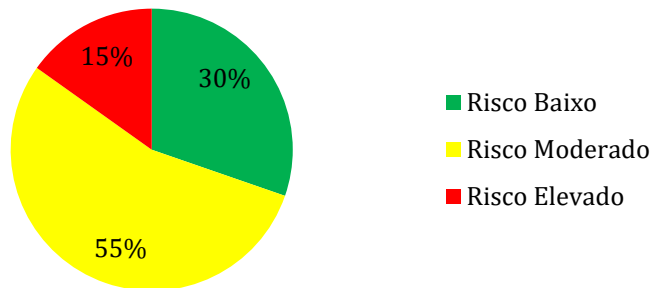
| Componente  | Análise de Falha             |                                        |                                                              | Avaliação de Risco |            |         |     |               |
|-------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|------------|---------|-----|---------------|
|             | Modo de Falha                | Efeitos de Falha                       | Causa de Falhas                                              | Ocorrência         | Severidade | Deteção | RPN | Grau de Risco |
| Engrenagem  | Vibração excessiva           | Choque dos flancos (dentes)            | Folga de ajuste mecânico                                     | 6                  | 5          | 6       | 180 | Moderado      |
|             | Quebra dos dentes            | Sobrecarga, torção e compressão        | Regime de trabalho pesado                                    | 2                  | 8          | 7       | 112 | Moderado      |
|             | Presença de particulado      | Deterioração dos componentes           | Excesso de carga radial                                      | 5                  | 5          | 6       | 150 | Moderado      |
| Eixo-pinhão | Desgaste no rasgo de chaveta | Folga, vibração e ruído excessivo      | Chaveta ou eixo mal dimensionado                             | 4                  | 5          | 5       | 100 | Baixo         |
|             | Eixo empenado                | Fratura do eixo/fadiga                 | Sobrecarga e desbalanceamento do conjunto motor-redutor      | 3                  | 8          | 8       | 192 | Moderado      |
| Rolamentos  | Vibração excessiva           | Sobrecarga e desarme do motor elétrico | Falta de lubrificação, desalinhamento dos eixos e sobrecarga | 6                  | 7          | 6       | 252 | Elevado       |
|             | Presença de particulado      | Sobrecarga e desarme do motor elétrico | Lascagem de material nas engrenagens                         | 5                  | 7          | 5       | 175 | Moderado      |
|             | Temperatura excessiva        | Quebra dos rolamentos                  | Lubrificação incorreta                                       | 5                  | 8          | 6       | 240 | Moderado      |
| Retentores  | Vazamento do óleo            | Contaminação/ perda do óleo            | Desalinhamento do conjunto motor-redutor                     | 6                  | 5          | 4       | 120 | Moderado      |
|             | Vazamento do óleo            | Contaminação/ perda do óleo            | Falha na montagem                                            | 4                  | 6          | 3       | 72  | Baixo         |

Fonte: Autor

Após elaboração das planilhas da FMEA, requer analisar e interpretar os resultados adquiridos, sendo possível sintetizar as frequências relativas aos graus de risco obtidos. Podemos constatar através da planilha que, dos 33 potenciais modos de falhas analisados, 10 possuem um grau de risco baixo, 18 apresentam um grau de risco moderado e 5 possuem um

grau de risco elevado. Tornando possível visualizar na Figura 15 as percentagens de ocorrência de acordo com o grau de risco, dispondo de 15% com grau de risco elevado, 55% com grau de risco moderado e o grau de risco baixo com 30% do total dos riscos.

Figura 15 – Ocorrência dos riscos



Fonte: Autor

Chegando à conclusão que os elementos que possuem o RPN elevado correspondem a 15% do total dos riscos relativos aos modos de falha, na qual, necessitaria de uma mobilização imediata para redução do grau de risco.

Como podemos perceber, o cálculo do RPN é o parâmetro mais importante da planilha FMEA, como já foi relatado, ele é essencial para a organização e a priorização de intervenção das falhas que foram identificadas pela equipe de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM). A severidade seria um dos mais importantes parâmetros para o cálculo do RPN, pois indica o grau de impacto causado no equipamento, devendo assim, está levando em consideração todo o contexto, não apenas o resultado final.

Como resultado da metodologia FMEA para o sistema estudado através dos valores calculados do RPN é possível observar e listar os cinco maiores riscos para o sistema de deslocamento transversal dos descarregadores de barças em caso de falha, que são:

1. Danos nos rolamentos do truck motriz devido a vibração excessiva causada pela falha na lubrificação, desalinhamento dos eixos e sobrecarga. RPN: 288
2. Danos nos rolamentos do truck livre devido a vibração excessiva causada pela falha na lubrificação, desalinhamento dos eixos e sobrecarga. RPN: 288
3. Desarme do motor elétrico devido ao curto circuito no estator causado pela falha do material de isolamento e excesso de temperatura. RPN: 280

4. Desarme do motor elétrico devido a queima da bobina causado pelo excesso de temperatura devido à sobrecarga elétrica. RPN: 280
5. Danos nos rolamentos do redutor de velocidade devido a vibração excessiva causada pela falha na lubrificação, desalinhamento dos eixos e sobrecarga. RPN: 252

Através da FMEA elaborada pelo autor, presente no Apêndice A, foi possível identificar quais os modos de falha que necessitam de maior atenção, como também as melhorias que devem ser aplicadas em cada um dos casos. Dispondo disso como fundamento, as ações preventivas recomendadas, necessitam ser realizadas de acordo com a programação que deverá ser elaborada pela equipe de PCM (Planejamento e Controle de Manutenção) para aplicação no cotidiano, como demonstra o Quadro 5. Podendo resultar em uma disponibilidade consideravelmente maior desse equipamento, reduzindo assim, os custos da operação.

Quadro 5 - Ações recomendadas para os equipamentos com grau de risco elevado

| Equipamento               | Componente | Falha              | Causas das Falhas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Ações Recomendadas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------|------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TRUCK MOTRIZ              | Rolamento  | Vibração excessiva | A vibração excessiva nos rolamentos pode ser atribuída, principalmente, ao desalinhamento dos eixos, resultando na falha funcional do rolamento. Podendo ocorrer durante a montagem incorreta na manutenção ou aparecer com o tempo em função da dilatação térmica e deslocamento de algum componente. Mesmo que desenvolvido para suportar cargas, possui um limite máximo que cada peça pode suportar, resultando em travamento ou a ruptura. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de vibração e comparação das frequências características de defeitos típicos em rolamento;</li> <li>• Selecionar rolamentos com capacidade de se submeter altas cargas radiais e baixas velocidades;</li> <li>• Lubrificação com graxa realizada com frequência;</li> <li>• Montagem correta durante a manutenção.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                      |
| TRUCK LIVRE               |            |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| REDUTOR DE VELOCIDADE     |            |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| MOTOR ELÉTRICO DE INDUÇÃO | Estator    | Curto circuito     | Os fios de cobre do estator são protegidos por um revestimento de esmalte isolante, que permite o enrolamento das bobinas sem que ocorra contato elétrico. Além disso, as bobinas são fixadas com um verniz para evitar vibrações e atrito entre eles, prevenindo danos ao esmalte.                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emprego de fios de cobre esmaltado e verniz de ótima qualidade e compatíveis;</li> <li>• Garantir treinamento e qualificação do bobinador, evitando a fragilização e falha precoce do sistema isolante durante o processo de rebobinamento;</li> <li>• Limpeza da carcaça do motor;</li> <li>• Garantir a vedação do motor, a fim de evitar o acúmulo de sal e/ou ferrugem no interior do motor.</li> </ul>                                                                                                                                                |
|                           |            | Queima da bobina   | Devido ao efeito Joule, ocorre o aquecimento quando a corrente passa pela bobina do motor, e o calor gerado deve ser dissipado para evitar superaquecimento, o que pode danificar o isolamento da bobina e queima do ativo. Também provocado por cargas elétricas que excedem a capacidade nominal do motor e partidas sucessivas em curtos intervalos de tempo.                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Checar as tensões na rede de alimentação, respeitando os limites estabelecidos pelo fabricante do motor elétrico ou normas;</li> <li>• Realizar análise termográfica e verificar se está dentro dos limites de isolamento;</li> <li>• Realizar partidas em intervalos adequados;</li> <li>• Verificar a integridade da ventoinha;</li> <li>• Verificar a integridade e desobstrução da saída de ar da tampa defletora;</li> <li>• Remoção do sal encrustado na carcaça para que ocorra a dissipação de calor através das aletas de modo eficaz.</li> </ul> |

Fonte: Autor



A implementação da análise de vibração e termográfica pela equipe de PCM seria de fundamental importância, sendo elas uma das técnicas mais utilizadas na manutenção preditiva, na qual permite a detecção de falhas mediante os padrões de vibração produzido pelo equipamento e detecção de radiação infravermelha emitida pelo equipamento convertida em imagens térmicas, que possui intensidade proporcional à temperatura deles. Permitindo o monitoramento do desempenho dos componentes através de técnicas não invasivas.

Para finalizar, foi elaborada uma planilha de manutenção, contendo atividades básicas a serem realizadas e periodicidade da execução, como mostrado na Quadro 6. Vale destacar que, as atividades recomendadas encontradas na tabela FMEA, foram determinadas para este objeto de estudo baseada no conhecimento teórico e prático do autor desse trabalho.

Quadro 6 - Recomendações periódicas de manutenção

| Equipamento                         | Atividade a ser realizada                    | Período |       |       |        |        |        |       |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
|                                     |                                              | Diário  | Seman | Quinz | Mensal | Trimes | Semest | Anual |
| TRUCK MOTRIZ                        | Limpeza/remoção de sal na carcaça            | x       |       |       |        |        |        |       |
|                                     | Abastecimento dos sistemas de lubrificação   |         |       |       |        | x      |        |       |
|                                     | Inspeção das rodas                           |         | x     |       |        |        |        |       |
|                                     | Análise de ruído e vibração                  | x       |       |       |        |        |        |       |
|                                     | Verificar acoplagem do eixo-pinhão           |         |       |       |        |        |        |       |
| TRUCK LIVRE                         | Limpeza/remoção de sal na carcaça            | x       |       |       |        |        |        |       |
|                                     | Abastecimento dos sistemas de lubrificação   |         |       |       |        | x      |        |       |
|                                     | Inspeção das rodas                           |         | x     |       |        |        |        |       |
|                                     | Análise de ruído e vibração                  | x       |       |       |        |        |        |       |
| MOTOR ELÉTRICO DE INDUÇÃO TRIFÁSICO | Limpeza/remoção de sal na carcaça            | x       |       |       |        |        |        |       |
|                                     | Análise de ruído e vibração                  | x       |       |       |        |        |        |       |
|                                     | Relubrificar os mancais                      |         | x     |       |        |        |        |       |
|                                     | Checagem dos acoplamentos                    |         |       | x     |        |        |        |       |
|                                     | Limpeza da superfície dos anéis de vedação   |         | x     |       |        |        |        |       |
|                                     | Análise termográfica                         |         | x     |       |        |        |        |       |
|                                     | Desobstruir entrada de ar da tampa defletora |         | x     |       |        |        |        |       |
|                                     | Verificar conexão e reapertar os parafusos   |         |       |       | x      |        |        |       |
|                                     | Verificar o estado das pás                   |         |       |       |        | x      |        |       |
|                                     | Tratamento anticorrosivo da carcaça          |         |       |       |        | x      |        |       |
| REDUTOR DE VELOCIDADE               | Limpeza/remoção de sal no cárter             | x       |       |       |        |        |        |       |
|                                     | Análise de ruído e vibração                  | x       |       |       |        |        |        |       |
|                                     | Verificar se há fugas de óleo do redutor     |         |       |       | x      |        |        |       |
|                                     | Verificar nível do nível de óleo             |         |       |       | x      |        |        |       |
|                                     | Análise das características do óleo          |         |       |       |        |        | x      |       |
|                                     | Abastecimento dos sistemas de lubrificação   |         |       |       |        | x      |        |       |
|                                     | Tratamento anticorrosivo do cárter           |         |       |       |        | x      |        |       |

Fonte: Autor

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para uma determinada organização conseguir obter sucesso se faz necessário investir em uma gestão estratégica de manutenção para conseguir identificar as formas de otimizar o uso dos equipamentos e eliminar os riscos com a menor intervenção possível pelo operador. Com base nisso, este estudo explorou a importância da aplicação de uma metodologia capaz de aumentar a confiabilidade no processo de manutenção do sistema responsável pelo deslocamento dos descarregadores de barbaças do Porto Ilha, resultando na redução das paradas de operação não programadas, através da Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA). Através dessa ferramenta, é possível detectar falhas no decorrer da operação. Resultando na confiabilidade dos equipamentos através de ações de melhorias e realização de estratégias adequadas de manutenção, visando reduzir os riscos associado aos modos de falhas, reduzindo os custos e aumentando o desempenho.

Ao longo do período de estágio na empresa responsável pela manutenção dos ativos do terminal salineiro, foi possível verificar e concluir que a forma de manutenção empregada deveria passar por algumas melhorias. A mesma não possuía documentos referentes ao histórico dos equipamentos, nem indicadores de falhas e quebras, dificultando no controle eficaz da gestão dos ativos e do estoque de reposição de peças, visto que, não era conhecida qual a criticidade dos equipamentos para o direcionamento das tarefas de manutenção.

Mesmo que diante as dificuldades encontradas durante a elaboração deste trabalho, foram alcançados os objetivos inicialmente propostos. Concluindo que, a elaboração e aplicação da FMEA é uma atividade rigorosa, que proporciona a equipe participante um profundo conhecimento sobre cada componente que faz parte do processo. Este conhecimento torna-se bastante útil para a eliminação dos modos de falha. Também a utilização desta ferramenta ajuda para a implementação de ações de melhoria com vista a diminuir o risco associado a cada modo de falha.

Os resultados desse trabalho foram bem satisfatórios, alcançando o objetivo proposto, elaborar uma metodologia para tornar o sistema confiável e reduzir o tempo de parada e falhas indesejáveis. Através desta metodologia, será possível aplicar aos demais equipamentos e desenvolver planos de manutenção eficazes e apropriados para a realidade do terminal salineiro.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere a execução de melhorias contínuas na própria pesquisa, com o objetivo de garantir ainda mais confiabilidade dos equipamentos, como também, a aplicação da metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho aos

demaís equipamentos do Terminal Salineiro de Areia Branca, garantindo uma significativa redução do tempo de paradas para manutenções corretivas não programadas. Vale ressaltar que, a ferramenta FMEA pode ser aplicada em outras manutenções.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, M. D. S. **Aplicação da FMEA em um Processo Produtivo em uma Hamburgueria no Cariri Paraibano. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção.** Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Sumé, PB, 2017.
- CODERN - COMPANHIA DOCAS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento - TERSAB.** Areia Branca/RN, 2021. Disponível em: <<https://codern.com.br/wp-content/uploads/2021/04/PDZ-do-Porto-Organizado-de-Areia-Branca-2021.pdf>>. Acesso em: 25 de fev. de 2023.
- EVS Engenharia. **Book de Serviços.** Relatório mensal dos serviços de oficina. Areia Branca/RN, 2022.
- FERNANDES, M. R; DIAS, M. F. **Manutenção Lean:** Classificação de Criticidade dos Equipamentos. Blog Gêneseis, 2021. Disponível em: <<https://www.genesisrs.com.br/infogenesis/manutencao-lean-classificacao-de-criticidade-dos-equipamentos>>. Acesso em: 26 de jan. de 2023.
- LABTRANS - Laboratório de Transportes e Logística. **Plano mestre:** Terminal Salineiro de Areia Branca - TERSAB. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC, 2015.
- MARTINS, C. P. **Aplicação da Ferramenta FMEA no Desenvolvimento do Processo e Cadastro de um Produto Rodoviário.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Panambi, RS, 2012.
- MELO, M. F. F. **Tipos de Manutenção.** Gestão de confiabilidade e lubrificação, LinkedIn. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/tipos-de-manutenção-michael-f-f-melo>>. Acesso em: 27 de mar. de 2023
- PINHEIRO, R. A; CAVALCANTE, F. B. N. **Análise de falha de uma linha de eixo de transmissão pertencente a um descarregador de barcas instalado no Terminal Salineiro de Areia Branca/RN.** Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica – R4EM, PET Engenharia Mecânica e Elétrica. R4EM, v.3, n.2, p. 50-61, 2021.
- RODRIGUES *et al.* **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial – FMEA.** Apostila e Tabelas Recomendadas para Severidade Ocorrência e Detecção, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI. São Leopoldo, RS, 2010.
- RUPPENTHAL, J. E. **Gerenciamento de Riscos.** Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Rede e-Tec Brasil. Santa Maria/RS, 2013.
- SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, SC, 2001.

SAXER, P. **Aplicação da FMEA para Análise de Riscos na Qualidade do Processo de Embalagens em uma Multinacional de Agroquímicos**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo – USP. Lorena, SP, 2015.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**. Milwaukee: American Society for Quality, Quality Press. 2003.

TELES, J. **FMEA: O que é e como fazer**. Engenharia de Manutenção e Confiabilidade, Gestão de Manutenção, 2017. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/fmea-o-que-e-como-fazer>>. Acesso em: 20 de jan. de 2023.

WILLICH, J. **Manutenção corretiva: o que é, quais são os tipos e qual o custo**. Blog Produtivo, 2022. Disponível em: <<https://www.produtivo.com.br/blog/manutencao-corretiva-boas-praticas>>. Acesso em: 27 de mar. de 2023.

ZANETTI, M. B. **Aplicação da Metodologia FMEA para Revisão das Estratégias de Manutenção em Equipamentos de Perfuração de uma Mineradora**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. João Monlevade, MG, 2019.

## APÊNDICE A - ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA

### FMEA ELABORADA PARA O SISTEMA DE TRUCKS DOS DESCARREGADORES DE BARCAÇA (PARTE 1)

| ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DA FALHA - FMEA |                                                                                          |                   |                              |                                    |                                                                         |                    |            |         |     |               |                                       |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------|---------|-----|---------------|---------------------------------------|
| Nº FMEA: _____                            |                                                                                          | Revisão Nº: _____ |                              | Data de Início: __/__/____         |                                                                         | Responsável: _____ |            |         |     |               |                                       |
| Processo: _____                           |                                                                                          | Área: _____       |                              | Revisado por: _____                |                                                                         |                    |            |         |     |               |                                       |
| Equipe: _____                             |                                                                                          | Sistema: _____    |                              |                                    |                                                                         |                    |            |         |     |               |                                       |
| Ponto de Falha                            |                                                                                          |                   | Análise de Falha             |                                    |                                                                         | Avaliação de Risco |            |         |     |               | Ação Preventiva Recomendada           |
| Equipamento                               | Função do Equipamento                                                                    | Componente        | Modo de Falha                | Efeitos de Falha                   | Causa de Falhas                                                         | Ocorrência         | Severidade | Deteção | RPN | Grau de Risco |                                       |
| TRUCK MOTRIZ                              | Realizar o deslocamento transversal do DB sobre os trilhos com giro motorizado das rodas | Carcaça           | Corrosão                     | Deteriorização da carcaça metálica | Exposição contínua ao meio salino                                       | 6                  | 3          | 1       | 18  | Baixo         | Limpeza e tratamento anticorrosivo    |
|                                           |                                                                                          | Rodas             | Desgaste do passeio          | Perda excessiva de material        | Fricção relativa com o trilho                                           | 6                  | 6          | 2       | 72  | Baixo         | Inspeção das rodas                    |
|                                           |                                                                                          |                   | Desgaste da bucha            | Empenamento das rodas              | Fricção da bucha de bronze com o eixo do truck/lubrificação ineficiente | 6                  | 6          | 6       | 216 | Moderado      | Inspeção das rodas                    |
|                                           |                                                                                          |                   | Ruído e vibração excessiva   | Desgaste e empenamento da coroa    | Regime de trabalho pesado                                               | 5                  | 7          | 7       | 245 | Moderado      | Inspeção das rodas                    |
|                                           |                                                                                          | Eixo-pinhão       | Desgaste no rasgo de chaveta | Folga, vibração e ruído excessivo  | Chaveta ou eixo mal dimensionado                                        | 5                  | 6          | 6       | 180 | Moderado      | Análise de folga entre chaveta e eixo |
|                                           |                                                                                          |                   | Ruído e vibração excessiva   | Desgaste e empenamento             | Sobrecarga e desalinhamento relativo com a coroa da roda                | 4                  | 6          | 7       | 168 | Moderado      | Análise de vibração                   |
|                                           |                                                                                          | Rolamentos        | Vibração excessiva           | Quebra de rolamentos               | Falta de lubrificação, desalinhamento do eixo e sobrecarga              | 6                  | 8          | 6       | 288 | Crítico       | Análise de vibração                   |
|                                           |                                                                                          | Eixo-pino         | Vibração excessiva           | Empenamento do eixo das rodas      | Sobrecarga e desbalanceamento das rodas                                 | 4                  | 6          | 6       | 144 | Moderado      | Análise de vibração                   |
| TRUCK LIVRE                               | Realizar o deslocamento transversal do DB sobre os trilhos com rodas movidas             | Carcaça           | Corrosão                     | Deteriorização da carcaça metálica | Exposição contínua ao meio salino                                       | 6                  | 3          | 1       | 18  | Baixo         | Limpeza e tratamento anticorrosivo    |
|                                           |                                                                                          | Rodas             | Desgaste do passeio          | Perda excessiva de material        | Fricção relativa com o trilho                                           | 6                  | 6          | 2       | 72  | Baixo         | Inspeção das rodas                    |
|                                           |                                                                                          |                   | Desgaste da bucha            | Empenamento das rodas              | Fricção da bucha de bronze com o eixo do truck/lubrificação ineficiente | 6                  | 6          | 6       | 216 | Moderado      | Inspeção das rodas                    |
|                                           |                                                                                          | Rolamentos        | Vibração excessiva           | Quebra de rolamentos               | Falta de lubrificação, desalinhamento do eixo e sobrecarga              | 6                  | 8          | 6       | 288 | Crítico       | Análise de vibração                   |
|                                           |                                                                                          | Eixo-pino         | Vibração excessiva           | Empenamento do eixo das rodas      | Sobrecarga e desbalanceamento das rodas                                 | 4                  | 6          | 6       | 144 | Moderado      | Análise de vibração                   |

## FMEA ELABORADA PARA O SISTEMA DE TRUCKS DOS DESCARREGADORES DE BARCAÇA (PARTE 2)

| ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DA FALHA - FMEA |                                                                                                       |                  |                               |                                         |                                                              |                    |            |                    |     |               |                                                                  |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|------------|--------------------|-----|---------------|------------------------------------------------------------------|
| Nº FMEA: _____                            |                                                                                                       |                  | Revisão Nº: _____             |                                         | Data de Início: __/__/____                                   |                    |            | Responsável: _____ |     |               |                                                                  |
| Processo: _____                           |                                                                                                       |                  | Área: _____                   |                                         |                                                              |                    |            |                    |     |               |                                                                  |
| Equipe: _____                             |                                                                                                       |                  | Sistema: _____                |                                         | Revisado por: _____                                          |                    |            |                    |     |               |                                                                  |
| Ponto de Falha                            |                                                                                                       |                  | Análise de Falha              |                                         |                                                              | Avaliação de Risco |            |                    |     |               | Ação Preventiva Recomendada                                      |
| Equipamento                               | Função do Equipamento                                                                                 | Componente       | Modo de Falha                 | Efeitos de Falha                        | Causa de Falhas                                              | Ocorrência         | Severidade | Deteção            | RPN | Grau de Risco |                                                                  |
| MOTOR ELÉTRICO DE INDUÇÃO TRIFÁSICO       | Responsável por acionar o redutor de velocidade através da conversão energia elétrica em mecânica     | Estator          | Curto circuito                | Desarme do motor elétrico               | Falha do material isolante e excesso de temperatura          | 5                  | 8          | 7                  | 280 | Crisis        | Análise termográfica                                             |
|                                           |                                                                                                       |                  | Queima da bobina              | Desarme do motor elétrico               | Excesso de temperatura devido a sobrecarga elétrica          | 5                  | 8          | 7                  | 280 | Crisis        | Análise termográfica                                             |
|                                           |                                                                                                       | Rotor            | Falha no acionamento          | Variação no giro do redutor             | Folga no acoplamento do redutor                              | 5                  | 5          | 4                  | 100 | Baixo         | Desmontagem do conjunto para análise dimensional dos componentes |
|                                           |                                                                                                       |                  | Diâmetro fora das tolerâncias | Folga entre o eixo e o mancal           | Vibração e não transmissão de potência                       | 4                  | 6          | 6                  | 144 | Moderado      | Fabricar eixos dentro das tolerâncias específicas                |
|                                           |                                                                                                       | Mancais          | Vibração excessiva            | Desgaste do eixo do mancal              | Travamento do eixo da carga                                  | 4                  | 5          | 4                  | 80  | Baixo         | Análise de vibrações                                             |
|                                           |                                                                                                       | Tampas           | Desbalanceamento              | Folga nos rolamentos                    | Rolamento travado                                            | 6                  | 5          | 3                  | 90  | Baixo         | Acompanhamento do tempo de trabalho e substituição               |
|                                           |                                                                                                       | Rolamentos       | Temperatura excessiva         | Perda de eficiência de lubrificação     | Falta de lubrificação                                        | 6                  | 6          | 6                  | 216 | Moderado      | Análise termográfica                                             |
|                                           |                                                                                                       |                  | Vibração excessiva            | Sobrecarga                              | Desalinhamento ou folga no eixo                              | 6                  | 6          | 4                  | 144 | Moderado      | Análise de vibrações                                             |
|                                           |                                                                                                       |                  | Não rotaciona                 | Rolamento travado                       | Montagem incorreta                                           | 6                  | 7          | 4                  | 168 | Moderado      | Treinamento técnico sobre o tema                                 |
|                                           |                                                                                                       | Anéis de vedação | Infiltração de sal            | Desgaste acentuado das partes rotativas | Ressecamento da borracha vedante                             | 6                  | 5          | 3                  | 90  | Baixo         | Limpeza dos anéis de vedação (o-rings)                           |
| REDUTOR DE VELOCIDADE                     | Converter a velocidade de rotação, promovida pelo motor elétrico, em torque para a movimentação do DB | Engrenagem       | Vibração excessiva            | Choque dos flancos (dentes)             | Folga de ajuste mecânico                                     | 6                  | 5          | 6                  | 180 | Moderado      | Inspeção das engrenagens<br>Análise de vibrações                 |
|                                           |                                                                                                       |                  | Quebra dos dentes             | Sobrecarga, torção e compressão         | Regime de trabalho pesado                                    | 2                  | 8          | 7                  | 112 | Moderado      | Inspeção das engrenagens                                         |
|                                           |                                                                                                       |                  | Presença de particulado       | Deterioração dos componentes            | Excesso de carga radial                                      | 5                  | 5          | 6                  | 150 | Moderado      | Análise de óleo                                                  |
|                                           |                                                                                                       | Eixo-pinhão      | Desgaste no rasgo de chaveta  | Folga, vibração e ruído excessivo       | Chaveta ou eixo mal dimensionado                             | 4                  | 5          | 5                  | 100 | Baixo         | Análise de folga entre chaveta e eixo                            |
|                                           |                                                                                                       |                  | Eixo empenado                 | Fratura do eixo/fadiga                  | Sobrecarga e desbalanceamento do conjunto motor-redutor      | 3                  | 8          | 8                  | 192 | Moderado      | Análise de vibração                                              |
|                                           |                                                                                                       | Rolamentos       | Vibração excessiva            | Sobrecarga e desarme do motor elétrico  | Falta de lubrificação, desalinhamento dos eixos e sobrecarga | 6                  | 7          | 6                  | 252 | Crisis        | Análise de vibração                                              |
|                                           |                                                                                                       |                  | Presença de particulado       | Sobrecarga e desarme do motor elétrico  | Lascagem de material nas engrenagens                         | 5                  | 7          | 5                  | 175 | Moderado      | Inspeção das engrenagens<br>Análise de vibrações                 |
|                                           |                                                                                                       |                  | Temperatura excessiva         | Quebra dos rolamentos                   | Lubrificação incorreta                                       | 5                  | 8          | 6                  | 240 | Moderado      | Lubrificação dos rolamento                                       |
|                                           |                                                                                                       | Retentores       | Vazamento do óleo             | Contaminação/ perda do óleo             | Desalinhamento do conjunto motor-redutor                     | 6                  | 5          | 4                  | 120 | Moderado      | Treinamento técnico sobre o tema<br>Análise de vibração          |
|                                           |                                                                                                       |                  | Vazamento do óleo             | Contaminação/ perda do óleo             | Falha na montagem                                            | 4                  | 6          | 3                  | 72  | Baixo         | Treinamento técnico sobre o tema                                 |