UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

ALTEMIR TOMAZ DE CARVALHO GARCIA

AVALIAÇÃO DE PRODUTOS E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS:

O CASO DO PROTÓTIPO DE UM ELEVADOR DIDÁTICO DESENVOLVIDO E CONSTRUÍDO NO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS E ACIONAMENTOS – D.E.E/CEAR/UFPB

JOÃO PESSOA – PB

2020

ALTEMIR TOMAZ DE CARVALHO GARCIA

AVALIAÇÃO DE PRODUTOS E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS:

O CASO DO PROTÓTIPO DE UM ELEVADOR DIDÁTICO DESENVOLVIDO E CONSTRUÍDO NO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS E ACIONAMENTOS – D.E.E/CEAR/UFPB

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcel de Gois Pinto

JOÃO PESSOA – PB
2020

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

G216a Garcia, Altemir Tomaz de Carvalho.
Avaliação de produtos e proposição de melhorias: o caso do protótipo de um elevador didático desenvolvido e construído no Laboratório de Máquinas e Acionamentos - D.E.E/CEAR/UFPB / Altemir Tomaz de Carvalho Garcia. - João Pessoa, 2020.
117 f. : il.

Orientação: Marcel de Gois Pinto.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Análise dos Modos e Efeitos de Falha. 2. Avaliação de Produtos. 3. Instituições de Ensino Superior. 4. Confiabilidade. I. Pinto, Marcel de Gois. II. Título.

UFPB/BS/CT CDU 62:658.5(043.2)

Elaborado por ROSANGELA GONCALVES PALMEIRA - CRB-216

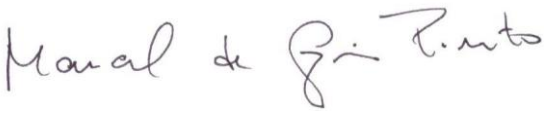
Altemir Tomaz de Carvalho Garcia

AVALIAÇÃO DE PRODUTOS E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS: O CASO DO PROTÓTIPO DE UM ELEVADOR DIDÁTICO DESENVOLVIDO E CONSTRUÍDO NO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS E ACIONAMENTOS – D.E.E/CEAR/UFPB

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da UFPB como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

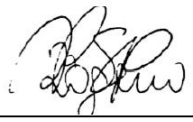
João Pessoa, 03 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof.Dr. Marcel de Gois Pinto(Orientador)
Universidade Federal da Paraíba

Prof.Dr. Ivson Ferreira dos Anjos
Universidade Federal da Paraíba



Prof.Dr. Rogério Santana Peruchi
Universidade Federal da Paraíba

Dedico este trabalho a minha mãe Roseli, exemplo de fé, força, coragem e amor que sempre aquecerá meu coração e a meu pai Altemir (in memoriam) que me ensinou com a própria vida que realmente devemos amar as pessoas como se não houvesse amanhã.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua eterna misericórdia e a paz que nos concede em momentos de turbulência.

Ao meu pai (*in memoriam*) que me ensinou do seu jeito que precisamos amar os que escolhem caminhos às vezes incompreensíveis pela nossa visão e minha mãe, guerreira, amiga e fonte de inspiração para buscar sempre a vitória.

A minha criativa e batalhadora esposa Iara Lucy e filhos talentosos e maravilhosos Gabriel e Mateus, família que me motiva todos os dias a agradecer, lutar e sonhar.

Ao meu Orientador, Professor Marcel de Gois Pinto por sempre ter me dado força e as orientações necessárias para a conclusão deste trabalho e aos demais professores da Banca que dedicaram momentos preciosos do seu tempo avaliando este trabalho.

A todos os outros professores que ainda não foram citados e ministraram as disciplinas da Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, curso que escolhi de maneira certeira por afinidade e compreensão da sua importância como vetor de melhoria em qualquer Sistema de Produção.

Ao coordenador do Laboratório de Máquinas e Acionamentos, Prof. Isaac Soares de Freitas por sempre ter me apoiado na realização desta Graduação e me dar condições de colocar em prática no meu trabalho diversos conhecimentos adquiridos na área de Gestão, Planejamento, Projeto de Produto e outras.

E a todos que participaram do grupo de Trabalho aqui registrado, pelas contribuições que puderam dar a partir da sua experiência e formação.

RESUMO

Este Trabalho tem o foco na Avaliação de Protótipo de um Elevador Didático desenvolvido no Laboratório de Máquinas e Acionamentos Elétricos da UFPB e que foi construído a partir da necessidade de aperfeiçoar a forma de se realizar ensaios no kit Servoacionamento, porém após a realização de testes iniciais algumas falhas foram percebidas. O objetivo Geral deste trabalho é propor melhorias para o produto citado e, visando diminuir a probabilidade de ocorrência de falhas que poderão ocorrer no produto desenvolvido. Para isto foi detalhado sua construção e funcionamento; pesquisado sobre produtos similares; planejado os ensaios que foram realizados variando a velocidade do servomotor, o que permitiu fazer um levantamento inicial dos problemas e levantar algumas medidas de confiabilidade como tempo médio até a primeira falha e a taxa de risco. Mas o que norteou a Avaliação realizada foi a Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA), uma ferramenta gerencial que possibilita a partir da identificação dos modos de falha e uma série de informações que irão levar a classificação do Risco de cada modo de falha. Este é utilizado para priorizar as ações de melhoria e correção do Projeto. Assim foram levantados os Riscos de cada modo de falha, sendo que o de maior valor foi uma falha relacionada a situação esporádica no posicionamento linear vertical da cabine e recebeu como recomendação de melhoria a substituição de cabo de aço por Corda Trançada, sendo que fora esta, mais de 15 ações foram recomendadas.

Palavras-chave: Análise dos Modos e Efeitos de Falha. Avaliação de Produtos. Instituições de Ensino Superior. Confiabilidade.

ABSTRACT

This work focuses on the Prototype Evaluation of a Didactic Elevator developed at the Laboratory of Machines and Electric Drives at UFPB and which was built from the need to improve the way of conducting tests in the Servo Kit, however after initial tests some flaws were noticed. The general objective of this work is to propose improvements for the mentioned product and, in order to reduce the probability of occurrence of failures that may occur in the developed product. For this, its construction and operation were detailed; researched about similar products; The tests that were carried out varying the speed of the servomotor were planned, which allowed to make an initial survey of the problems and to raise some reliability measures such as average time until the first failure and the risk rate. But what guided the Assessment carried out was the Analysis of Failure Modes and Effects (FMEA), a managerial tool that allows from the identification of failure modes and a series of information that will lead to the risk classification of each failure mode. . This is used to prioritize the Project's improvement and correction actions. Thus, the Risks of each failure mode were raised, and the one with the highest value was a failure related to the sporadic situation in the vertical linear positioning of the cabin and received as a recommendation for improvement the replacement of steel cable with Braided Rope, being that outside this more than 15 actions were recommended.

Keywords: Failure mode and Effects analysis. Product evaluation. Higher education institutions. Reliability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de FMEA e as suas relações.....28
Figura 2 – Exemplo da Constituição de Um Elevador de Passageiros 33
Figura 3 – Fluxograma de Funcionamento de Elevador Didático.....38
Figura 4 – Uma das imagens do Servoconversor SCA-05.....40
Figura 5 – Conexões de Potência e Aterramento do Servoconversor.....40
Figura 6 – Etiqueta de Dados do Servoconversor.....41
Figura 7 – Conexões de sinais e controle do Servoconversor 41
Figura 8 – IHM de um Servoconversor.....42
Figura 9 – Servomotores de diferentes tamanhos.....44
Figura 10 – Estrutura da Pesquisa.....47
Figura 11 – Metodologia execução do FMEA – Protótipo elevador didático LMA.....48
Figura 12 – Sensor de presença rente à cabine e osciloscópio 51
Figura 13 – Placas ou módulos WEG expostos separadamente 53
Figura 14 – Cabos, Plug Banana e forma de encaixe. 54
Figura 15 – Foto de Bancada WEG 55
Figura 16 – Servomotor do LMA 56
Figura 17 – Desenvolvimento do Protótipo Elevador Didático LMA 57
Figura 18 – Esquema Conceitual do Elevador PMAS.....61
Figura 19 – Foto no LMA do Elevador PMAS.....63
Figura 20 – Foto de caixa plástica que serve de Cabine.....64
Figura 21 – Foto de disco Padronizado 2 N em diferentes vistas 65
Figura 22 – Fotos da roldana superior e detalhes da instalação.....66
Figura 23 – Foto da Roldana Inferior e detalhes da Instalação.....66
Figura 24 – Possibilidade de acomodação do cabo de aço no Carretel.....70

Figura 25 – Fluxograma do ensaio a ser realizado no Elevador Didático 72
Figura 26 – Equipamentos de Apoio ao Ensaio 74
Figura 27 – Sinais captados do osciloscópio durante os ensaios 75
Figura 28 – Teste de aderência do modelo normal – Ensaio 3 80
Figura 29 – Confiabilidade - Ensaio 3 80
Figura 30 – Gráfico de Taxa de risco para o Ensaio 3 81
Figura 31 – Densidade Acumulada de Falha 81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Subsistemas que compõe o Sistema de um Elevador 35

Quadro 2 – Lista de componentes utilizados na montagem.....35

Quadro 3 – Parâmetros relacionados a entradas analógicas e digitais.....43

Quadro 4 – Sujeitos da Pesquisa e Informações associadas 49

Quadro 5 – Modelo de Análise da Pesquisa 50

Quadro 6 – Dados do Servoconversor do LMA.....55

Quadro 7 – Dados do servomotor do LMA.....56

Quadro 8 – Materiais utilizados no Grupo Sustentação e suas Funções 94

Quadro 9 – Materiais utilizados no Grupo Cabine e suas Funções.....95

Quadro 10 – Materiais utilizados no Grupo Deslocamento e suas Funções 96

Quadro 11 – Materiais utilizados no Grupo Roldanas e suas Funções.....97

Quadro 12 – Materiais utilizados no Grupo Segurança e suas Funções.....98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sugestão de escala para avaliação dos efeitos dos modos de falha 29

Tabela 2 – Sugestão de escala para avaliação da ocorrência da causa de falha em projetos 30

Tabela 3 – Sugestão de escala para avaliação da detecção em projetos.....31

Tabela 4 – Material utilizado num dos Elevadores Didáticos 36

Tabela 5 – Custo dos Materiais Utilizados na construção do Elevador Didático 67

Tabela 6 – Modelos e níveis de significância 79

Tabela 7 – Comparação de Resultados dos ensaios 82

Tabela 8 – Modos de Falha classificados pelo Risco 86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	- Disponibilidade
CEAR	- Centro de Energias Alternativas e Renováveis
CT	- Centro de Tecnologia
D	- Probabilidade de Detecção
DEE	- Departamento de Engenharia Elétrica
DID	-Didático
ELEV	- Elevador
FMEA	- *Failure Mode and Effects Analysis*
LMA	- Laboratório de Máquinas e Acionamentos
MTBF	- mean time between failures (Tempo médio entre falhas)
MTTF	- *mean time to failure*(Tempo médio até a primeira falha)
MTTR	- Tempo médio para reparo
O	-Probabilidade de Ocorrência
R	- Risco
S	- Severidade
TBF	- Tempo entre falhas
TTF	- Tempo até a primeira falha
TTR	- Tempo de reparo
PDP	- Processo de Desenvolvimento de Produtos
UFPB	- Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 17
1.1 Definição do tema 18
1.2. Justificativa 19
1.3. Objetivos 21
1.3.1. Objetivo geral 21
1.3.2. Objetivos Específicos 21
2. REVISÃO DA LITERATURA 22
2.1. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP) 22
2.2. CONFIABILIDADE 23
DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE EM CONFIABILIDADE 25
2.3. ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA 27
2.3.1 Tipos Principais de FMEA 27
2.3.2 Etapas de um FMEA 28
2.3.3 Aplicações do FMEA 32
2.4 COMPOSIÇÃO DE ELEVADORES DE PASSAGEIROS 33
2.5. ELEVADORES DIDÁTICOS 34
2.5.1. Desenvolvimento de Elevadores Didáticos 34
2.5.2. Melhorias em elevadores didáticos 34
2.5.3. Composição de elevadores didáticos 34
2.5.4. Descrição do funcionamento de elevadores didáticos 37
2.6. KIT DIDÁTICO SERVOACIONAMENTO WEG 39
2.6.1 Servoacionamento WEG SCA 05 39
2.6.2 Servomotor 44
3. MÉTODO DE PESQUISA 46
3.1. Classificação da Pesquisa 46
3.2. Tipos e fontes dos dados 47
3.3. Ambiente da Pesquisa 47

3.4. Estrutura da Pesquisa.....47

3.5. Sujeitos da pesquisa.....48

3.6. Modelo de análise 50

3.7. Instrumento de pesquisa.....51

3.7.1. Instrumentos de coleta de dados 51

3.7.1. Instrumentos de tratamento dos dados 52

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 53

4.1. DESCRIÇÃO DO KIT WEG SERVOACIONAMENTO DO LMA.....53

4.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO ELEVADOR DIDÁTICO.....57

SOLUÇÃO DO PRODUTO 58

INTERESSADOS NO PROJETO.....58

ESCOPO DO PRODUTO.....58

ESCOPO DO PROJETO 59

DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO PRODUTO.....59

DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DO PROTÓTIPO ELEVADOR DIDÁTICO - LMA 60

FUNÇÕES E ESCOLHAS DEFINIDAS DO PRODUTO 62

4.3. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO ELEVADOR DIDÁTICO 63

4.4. Levantamento do Custo do Elevador Didático 67

4.5. PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS 69

4.6. Realização de ensaios e LEVANTAMENTO De Medidas de CONFIABILIDADE (ANTES DAS MELHORIAS) 73

4.6.1. ENSAIO 1 – SERVOMOTOR A 12 RPM.....76

4.6.2. ENSAIO 2 – SERVOMOTOR A 36 RPM.....76

4.6.3. ENSAIO 3 – SERVOMOTOR A 84 RPM.....77

4.6.4. Modos de falha observados durante os Ensaios.....82

4.7. Análise de modo e efeito de falhas (FMEA) 83

4.7.1. Identificar modos de falha conhecidos e potenciais; 83

4.7.2. Identificar efeitos individualmente do modo de falha e a sua respectiva severidade;.....83

4.7.3. Identificar as causas que podem ocorrer para cada modo de falha e a sua probabilidade de ocorrência; 84

4.7.4. Identificar os meios de detectar o modo de falha e sua probabilidade de detecção;.....85

4.7.5. Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e determinar medidas para sua redução. Ou eliminação.....85

4.6. Proposição de melhorias no elevador didático 86

5. CONCLUSÃO 89

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....91

APÊNDICE A – RESUMO DO PROJETO DO PROTÓTIPO INICIAL DO ELEVADOR DIDÁTICO – LMA 93

APÊNDICE B – QUADROS COM MATERIAIS UTILIZADOS E SUAS FUNÇÕES.94

APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DA MONTAGEM DO ELEVADOR DIDÁTICO – LMA 100

APÊNDICE D – DADOS DO ENSAIO 1 – ELEV.DID. LMA 101

APÊNDICE E – DADOS DO ENSAIO 2 – ELEV.DID. LMA 102

APÊNDICE F – DADOS DO ENSAIO 3 – ELEV. DID. LMA.....105

APÊNDICE G – TABELA COM PARÂMETROS RELACIONADOS AOS ENSAIOS 107

APÊNDICE H – FICHA DE FMEA – PARTE I 108

APÊNDICE I – FICHA DE FMEA – PARTE II.....115

1. INTRODUÇÃO

Na busca de um caminho para a qualidade do ensino de engenharia, certamente se encontra a etapa de aulas práticas bem elaboradas, ocorridas em Laboratórios adequadamente equipados e com mão de obra qualificada, de forma que o aluno tenha contato com ensaios e situações que esclareçam ou exemplifiquem a teoria que foi vista em Sala de Aula e apontem para possíveis situações profissionais que ocorrerão nos muros fora da Universidade.

Para auxiliar neste desafio didático diversos Laboratórios possuem Kits Educacionais, todavia o conhecimento adquirido na Graduação em Engenharia de Produção Mecânica nos leva a crer que todo processo e produto podem ser melhorados e seguindo este preceito aqui será apresentada uma das maneiras possíveis de otimizar um Elevador Didático que foi desenvolvido no Laboratório de Máquinas e Acionamentos (LMA).

Este Laboratório é por hora localizada no Centro de Tecnologia (CT), mas pertence ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) que faz parte do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Um Elevador Didático pode ser definido como um mecanismo que possui diversas partes, entre elas uma cabine que se desloca na posição vertical, sendo controlado este movimento através de uma força motriz, que no caso aqui em questão é um servomotor e foi construído para ser utilizado em aulas com a finalidade de otimizar o processo de ensino/aprendizado de controle de posição e velocidade em sistemas de servoacionamento.

O Desenvolvimento inicial do citado mecanismo seguiu diversas fases do Processo de Desenvolvimento de Produtos chegando ao resultado de um Protótipo que satisfez as expectativas iniciais, porém apresentou alguns erros e procurando resolver este e diminuir a probabilidade de futuros erros, visando inclusive a Segurança dos alunos que irão vivenciar os ensaios foi aplicado um método voltado ao Planejamento da Qualidade – A ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA, tradução do Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), sendo a utilização da sigla em inglês a forma dos trabalhos na área citarem tal ferramenta.

Na revisão da literatura que será exposta a diante não foi verificado estudos que analisam falhas em elevadores didáticos, mas existiram diversos trabalhos que focaram na construção dos citados.

Nesta seção serão apresentadas a Definição do Tema indicando no final a questão relacionada à pesquisa, a Justificativa procurando apresentar a relevância do Tema, além do Objetivo Geral e Objetivos Específicos.

1.1 Definição do tema

A oferta dos cursos de Graduação em Engenharia no Brasil aumentou consideravelmente na história recente do nosso país. Diante dessa expansão, aumenta a necessidade de avaliação da Qualidade desses cursos e isso perpassa o uso de Laboratórios Didáticos.

Numa pesquisa realizada em Melo Junior et al. (2020) buscando apresentar um panorama da visão dos estudantes sobre os aspectos didáticos e a utilização de metodologias dos professores nos cursos de engenharia de uma das cinco regiões do nosso país verificou-se que somente 2,4% dos alunos responderam que se sentiriam competitivos no mercado de trabalho com apenas o conhecimento que tinham adquirido na sala de aula e Laboratórios.

Já em outra pesquisa que abordou a importância das aulas práticas para o ensino superior de engenharia, vista em Prestes e Rodrigues (2016), foi constatado que 93,9 % indicaram que costumam entender melhor os conteúdos ministrados com o auxílio de experimentos.

Mas para realizar os experimentos de forma construtiva se faz necessário o planejamento destes por parte dos professores, técnicos com mão de obra qualificada, bons equipamentos de medição e Kits Educacionais que permitam que o aluno compreenda qual aplicação no mundo profissional, fora dos muros da Instituição de Ensino Superior, do conhecimento que ele adquiriu na sala de aula e no laboratório.

Porém as Instituições de Ensino Superior Públicas frequentemente se deparam com a falta de recurso financeiro. E é com criatividade, ciência e dedicação

que alguns Servidores Públicos enfrentam a falta de recursos e geram soluções pensadas para favorecer a Qualidade de Ensino e aumentar o nível de compreensão do aluno.

Um dos exemplos dessas Soluções foi o desenvolvimento de um Protótipo de um Elevador Didático apto para ser acoplado a um Kit Educacional que já existia, mas que poderia ser otimizado. Este Produto foi pensado, desenvolvido e construído no LMA, mas ao serem realizados os primeiros testes foi percebida a existência de falhas no seu funcionamento.

A falha que a princípio mais influenciaria o desempenho esperado seria o fato de esporadicamente a cabine do elevador não se posicionar no lugar esperado apesar do servomotor girar seu eixo e se posicionar exatamente como deveria.

Porém seria muito elementar imaginar que existiria apenas este problema, na Graduação em Engenharia de Produção Mecânica os estudantes são estimulados a planejar, desenvolver, controlar e agir para resolver desafios e propor soluções ótimas buscando a melhoria contínua.

Existem diversas técnicas para se avaliar produtos, resta saber quais seriam aplicáveis no caso do Elevador Didático já citado de forma que permitisse identificar ações para eliminar ou reduzir a probabilidade de falhas neste equipamento, que será operado por Professores, técnicos e alunos que devem executar suas atividades com total segurança.

Desta forma, a questão da pesquisa aqui exposta se apresenta da seguinte forma: Que ações eliminariam ou reduziriam, a probabilidade de ocorrência de falhas que poderão ocorrer no Protótipo do Elevador Didático desenvolvido no LMA?

1.2. Justificativa

Na literatura existem diversos trabalhos falando sobre Desenvolvimento ou melhorias de Elevadores Didáticos, como pode ser visto em Melo et al. (2019); Paula (2014) e Thabet, Jameel e Hasan (2018), porém não foram verificados trabalhos que

levem em consideração o Desenvolvimento deste Protótipo com Materiais de Custo Reduzido e de fácil acesso, sendo esta questão de suma importância para Instituições de Ensino Superior que pertencem ao sistema Público Federal e que diversas vezes se deparam com limitações financeiras.

Inclusive não foi uma prática frequente no material lido na pesquisa bibliográfica o relato do valor dos materiais utilizados nas montagens, apesar de estar presente no elevador didático visto em Weiss, Gasparin e Schling (2011), mas nesta pesquisa aqui apresentada foi declarado o valor de cada item utilizado e por sinal o valor total do Elevador Didático desenvolvido no LMA teve um custo três vezes menor que o outro citado. .

Outra contribuição dada foi que a partir da lista de funcionalidades e materiais um elevador didático similar pode ser montado em qualquer cidade que possua uma loja de material de construção de porte médio e considerando que houve uma expansão tanto da Universidade Federal da Paraíba, quanto nos Institutos Federais de Educação, este trabalho pode dar apoio à montagem de tais Produtos e com baixo custo em cidades distantes de grandes centros.

Após construir o Protótipo foram observadas falhas, sendo a que mais chamou atenção foi o fato da cabine de forma intermitente não se posicionar no local desejado, o que comprometeria a funcionalidade do produto que é de mostrar precisão no controle de posicionamento e velocidade. Isto motivou a procura por técnicas de avaliação de produtos, o que levou ao encontro da ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA ou Failure Mode And Efects Analysis (FMEA).

Esta técnica pode ser utilizada tanto para Projetos quanto para processos e desta maneira este trabalho apresenta uma aplicação desta e pode ser útil para inspiração de outros trabalhos de avaliação, além disso, o fator do FMEA ter sido desenvolvido a partir de um grupo de trabalho multidisciplinar agregou valor a seus resultados, pois o trabalho aqui exposto não é a visão de apenas uma pessoa.

As melhorias pensadas tiveram a intenção de aumentar a segurança dos alunos e outros usuários que irão utilizar o equipamento, aumentar a durabilidade dos materiais utilizados e a confiabilidade do Protótipo. Enfim, as informações contidas neste Trabalho podem ser uteis para a melhoria de outros Protótipos, Produtos e quem sabe outros Processos, levando-se sempre em consideração que

o Engenheiro precisa se preparar para lidar com Sistemas de diferentes tamanhos, tipos, necessidades e procurar soluções adequadas para cada situação.

1.3. Objetivos

Nesta seção será exposto o Objetivo geral do trabalho e que passos deverão ser seguidos para obtenção deste, ou seja, os objetivos específicos. Todo o desenvolvimento deste trabalho considerará estas intenções aqui afirmadas.

1.3.1. Objetivo geral

Propor melhorias para um elevador didático projetado e construído num Laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica do CEAR/UFPB, visando diminuir a probabilidade de ocorrência de falhas que poderão ocorrer no produto desenvolvido.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Descrever o Elevador didático desenvolvido e seu funcionamento;
- Planejar os Ensaios que serão realizados utilizando o Produto em análise;
- Identificar as possíveis falhas e seus respectivos efeitos;
- Mensurar a ocorrência das falhas antes do processo de melhoria;
- Analisar as causas das falhas;
- Propor soluções para as falhas encontradas ou falhas potenciais do sistema.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentado o estado da arte do tema da monografia, desta maneira a revisão considerou assuntos como Processo de Desenvolvimento de Produtos, Confiabilidade, Análise Dos Modos E Efeitos De Falha e outros.

2.1. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)

O Processo de Desenvolvimento de Produtos abrange um conjunto de etapas suficientes para se alcançar as especificações de projeto de um produto, seu processo de produção que seja viável de manufaturar num sistema de produção, levando-se em consideração as necessidades do mercado das possibilidades e restrições tecnológicas, estratégias competitivas e de produto da empresa. (ROZENFELD et al., 2006).

Tal Processo possui algumas particularidades que o tornam mais complexo que os Processos de Fabricação no que se refere aos aspectos de coordenação e controle das atividades, dentre essas particularidades se encontram a dificuldade de visualizar um processo que ocorre em ambientes virtuais e a troca de interações entre os envolvidos no PDP são frequentes, interativas e imprevisíveis (PINTO, 2018).

No Brasil, considerado um país em desenvolvimento, as atividades de PDP ocorrem mais nas adaptações e melhorias de produtos que já existem, como são o caso dos segmentos de produtos de automóveis, equipamentos eletrônicos, produtos farmacêuticos. Estes produtos citados geralmente são concebidos e projetados nos países desenvolvidos, mas há um movimento crescente no sentido de desenvolvimento de carros populares (motor de baixa cilindrada) e o reconhecimento mundial da capacidade da Embraer (ROZENFELD et al., 2006).

Podem existir diferentes formas, modelo para se desenvolver Produtos, uma delas foi visto em Rozenfeld et al., (2006), que apresenta Um “modelo unificado de desenvolvimento de produtos originado, segundo o autor citado, da junção das

metodologias, estudos de caso, experiências e melhores práticas". Neste modelo existem diversas macrofases (Pré-desenvolvimento, desenvolvimento e Pós-desenvolvimento) que são subdivididas em fases e atividades e cada macrofase por sua vez tem várias componentes, como é o caso do Desenvolvimento que apresenta as etapas.

Na fase de desenvolvimento, conforme Rozenfeld et al. (2006), é composto pelas fases de: Projeto Informacional, Projeto Conceitual; Projeto Preliminar; Projeto Detalhado; Preparação da Produção e Lançamento do Produto. Apesar de que, existem diversas áreas de conhecimento e dependendo da área vai englobar uma ou outra fase citada, sendo que, a área da Engenharia de Produto obedece na sequencia desde o Projeto Informacional até o Projeto Detalhado.

Mas é de se imaginar que nem todos os PDP's ocorrem da mesma maneira, utilizando-se das mesmas fases, etapas, atividades. Até porque as necessidades são diferentes, o nível de dificuldade muda de caso para caso, desta maneira a literatura aponta para diversos modelos compostos das mais variadas etapas.

Existem diversos modelos utilizados que utilizam no mínimo três etapas do processo de desenvolvimento: definição do problema, busca de soluções para o problema e a seleção de soluções para resolver o problema (BLESSING,1995 & Sharafi et AL,2010 apud PINTO, 2018).

2.2. CONFIABILIDADE

Em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas. Quando se fala em confiabilidade de um item, esse item pode ser um sistema, formado por diversos componentes, assim existirá uma probabilidade, ou seja, a confiabilidade apresentará valores entre zero e um, existindo a necessidade de se definir corretamente por desempenho adequado (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Possuindo esta definição é possível saber quando o item falha e a confiabilidade deverão ser em função de um período de tempo (minutos, horas,

anos) para a realização das análises. Os modelos que utilizam os tempos até falha fazem uso da variável aleatória T para descrever o tempo até falha de um item (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Outro aspecto imprescindível em relação à confiabilidade é a definição das condições ambientais de uso do item, pois um mesmo produto pode apresentar desempenho diferente sendo operado em ambientes de umidade ou calor intenso, se comparado a produtos colocados a exposição das condições climáticas amenas de uso (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

As três medidas de confiabilidade mais comumente usadas para unidades não reparáveis vistas em Fogliatto e Ribeiro (2011) são a função de confiabilidade R(t), a função de risco h(t) e o tempo médio até falha, MTTF (mean time to failure).

A função de confiabilidade, também chamada função de sobrevivência pode ser definida como a sua probabilidade acumulada de sucesso, ou seja, a probabilidade da ausência de falhas em determinado tempo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Já a função de risco h(t) é considerada a medida de confiabilidade mais difundida na prática e representa a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo t, e é conhecida também como taxa de falha ou de risco (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Um dos principais indicadores de confiabilidade, conforme visto em Fogliatto e Ribeiro (2011), e utilizados em programas de manutenção é a Disponibilidade que pode ser definida como a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua requerida função num determinado instante do tempo ou em um período de tempo predeterminado.

Já Rolim (2016) acrescenta que a disponibilidade depende tanto da confiabilidade como da manutenibilidade, se apresentando como um indicador de expressiva importância para análise de sistemas e processos, além disso, expõe forma de se calcular a disponibilidade média assintótica ou estacionária, que é apresentada na Equação 1.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

Onde o MTBF (mean time between failures) é o tempo médio entre falhas e o MTTR é o Tempo médio para reparo que é calculado a partir da Equação 2.

$$\mathrm{A} = \frac{1}{\mathrm{N}} \sum_{1}^{\mathrm{n}} \mathrm{TTR} \quad (2)$$

Considerando o N como o número de intervenções efetuadas durante um determinado período e o TTR, que é o Tempo de Reparo.

A utilização da Equação 1 foi verificada na literatura em diversas situações, incluindo em Komninakis, Piratelli e Achcar (2018) onde a Disponibilidade de 6 máquinas de uma empresa de indústria alimentícia avaliadas variou de 99,57% a 99,82%.

Existem diversas áreas da aplicação da Confiabilidade, Rausand & Høyland (2003) apud Fogliatto e Ribeiro (2011) cita: Análise de Risco de Segurança, Qualidade, Otimização da manutenção, Proteção ambiental e Projeto de produtos.

Quanto ao Projeto de Produtos, a confiabilidade pode ser considerada como uma das mais importantes características de qualidade em produtos com intenso valor técnico agregado, desta forma, muitas indústrias vêm integrando programas de confiabilidade ao processo de desenvolvimento de produtos, utilizando técnicas quantitativas ou por meio de estudos qualitativos de confiabilidade, envolvendo o uso do FMEA. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011)

Distribuição de Probabilidade em Confiabilidade

A definição mais comum de confiabilidade de determinada unidade (componente ou sistema) é fornecida em termos de sua probabilidade de sobrevivência até um tempo t de interesse. A determinação dessa probabilidade ocorre a partir da modelagem dos tempos até falha da unidade em estudo, sendo a. distribuição de probabilidade conhecida que melhor se ajusta há esses tempos, é

possível estimar a probabilidade de sobrevivência da unidade para qualquer tempo t, bem como outras medidas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Existem duas formas muito comuns de verificação de ajuste de dados a distribuições hipotetizadas são: gráfica, através de histogramas de frequência e papéis de probabilidade, e analítica, através de testes de aderência (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Os testes analíticos de aderência mais utilizados, segundo Fogliatto e Ribeiro (2011) são o do qui-quadrado e o de Kolmogorov-Smirnov. Os dois testes apresentam a estrutura de um teste de hipóteses, em que a hipótese nula (H0) é de que os dados sigam uma determinada distribuição hipotetizada. O teste do qui-quadrado é um teste paramétrico, com estatística de teste seguindo uma distribuição do qui-quadrado, caso H0 seja verdadeira.

O método é calcular a soma dos quadrados das diferenças entre frequências esperadas (considerando a distribuição em H0) e frequências empíricas observadas em diferentes intervalos de classe; se a soma ultrapassar um determinado valor tabelado, rejeita-se H0, o que não é, obviamente, o objetivo do teste. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011)

Já o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) é implementado de maneira análoga, entretanto considerando frequências acumuladas ao invés de frequências absolutas (isto é, a frequência registrada em um intervalo de classe é acumulada nos intervalos seguintes), utilizando melhor a informação contida na amostra. O KS é um teste não paramétrico, de uso mais adequado em situações nas quais poucos dados amostrais estão disponíveis. O teste do qui-quadrado é formalizado na sequência. Ambos os testes encontram-se disponíveis no aplicativo Proconf. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011)

Quatro distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até falha de componentes e sistemas são a Exponencial, a de Weibull, a Gama e a Lognormal, mas ainda existe a distribuição normal, importante na estatística inferencial que encontra menor aplicabilidade em estudos de confiabilidade, entretanto, o aplicativo Proconf, disponibiliza um conjunto completo de análises para variáveis normalmente distribuídas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

2.3. ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA

Existem diversas ferramentas de gerenciamento, estas são largamente difundidas e aplicadas em várias finalidades dentro da empresa, o uso destas possibilita que as decisões sejam tomadas num tempo suficiente, dando aos integrantes das equipes de desenvolvimento do produto as informações que necessitam e a resposta eficaz. As seguintes ferramentas podem ser destacadas: estrutura única de produto (PSA - *Product Structure Assurance*) e *mockup* eletrônico (E/MKP); *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) e a *failure mode and efects analysis* (FMEA) (MATTOS; GUIMARÃES, 2005).

Este FMEA que pode ser traduzido como Análise dos Modos e Efeitos de Falha é um método voltado ao planejamento da qualidade, reconhecido mundialmente por sua utilidade na análise de falhas. Apesar de ter nascido durante a missão Apollo, sendo desenvolvido pela NASA por volta de 1963 e com o propósito de identificar, de forma sistemática, falhas potenciais em sistemas, processos ou serviços, identificar seus efeitos, suas causas e, a partir disso, definir ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas, passou a ser mais utilizado após 1977 quando a FORD iniciou seu uso no método de fabricação de automóveis (FERNANDES; REBELATO, 2006).

2.3.1 Tipos Principais de FMEA

Em Fogliatto e Ribeiro (2011) são apresentados dois tipos de FMEA, sendo estes os de Projeto e o de Processo. O primeiro tipo é uma técnica analítica que a equipe ou o engenheiro de projeto utiliza como um meio para garantir que os modos potenciais de falha e seus respectivos efeitos e causas serão considerados e discutidos suficientemente, assim. o produto final, seus subsistemas e componentes são detalhadamente analisados. E o de Processo se apresenta como uma técnica analítica que a equipe de desenvolvimento do processo se apropria como uma forma para assegurar que os modos potenciais de falha no processo e seus efeitos e causas respectivas serão considerados e completamente discutidos.

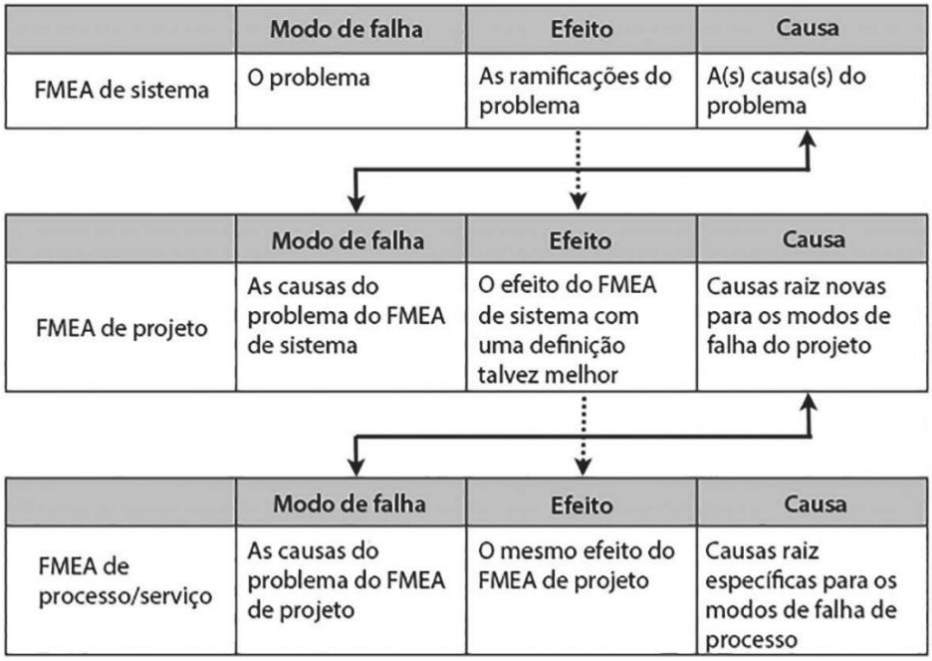
Dois tipos de FMEA também foram vistos em Lobo (2020), sendo os de Produto e de Processo. O de Produto seria equivalente ao de Projeto anteriormente

apresentado, pois segundo o autor no FMEA são consideradas as falhas que podem ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto.

Quanto à diversidade de tipos de FMEAs, pudesse dizer que existem vários tipos, entre eles, alguns são mais utilizados e outros menos, diferindo em alguns aspectos, como nomenclatura dos elementos e classificação dos riscos. Porém, o objetivo da ferramenta permanece o mesmo independentemente de qual tipo de FMEA for utilizado (SILVEIRA et al., 2019).

Na Figura 1 são apresentados os tipos de FMEA e suas relações, conforme visto em Silveira et al. (2019), onde podem ser vistos o FMEA de sistema, o de Projeto, o de Processos e Serviço.

Figura 1 – Tipos de FMEA e as suas relações



Fonte: Silveira *et al.* (2019).Adaptado de Stamatis (2003)

2.3.2 Etapas de um FMEA

Para a execução do FMEA, podem ser realizadas as seguintes etapas: 1) identificar modos de falha conhecidos e potenciais; 2) identificar efeitos

individualmente do modo de falha e a sua respectiva severidade(S); 3) identificar as causas que podem ocorrer para cada modo de falha e a sua probabilidade de ocorrência (O); 4) identificar os meios de detectar o modo de falha e sua probabilidade de detecção(D); e 5) avaliar o potencial de risco(R) de cada modo de falha e determinar medidas para sua redução ou eliminação. (FERNANDES; REBELATO, 2006)

Já em Lobo (2020), é citado que o FMEA deve ser feito passo a passo, pois cada fase se baseia na anterior, e assim como o autor anterior, enumera as etapas em cinco, porém não necessariamente da mesma forma. Desta maneira o autor enuncia as seguintes fases: Planejamento; Análises de Falha em Potencial; Avaliação de Riscos, Melhoria e Continuidade.

Na Tabela 1 é exposta uma sugestão de escala para avaliação dos efeitos dos modos de falha. No momento de se avaliar a Severidade é realizada uma avaliação qualitativa. Ressaltasse que, uma vez que a FMEA utiliza avaliações qualitativas, o estudo pode ser realizado mesmo na ausência de medições ou análises matemáticas aprofundadas. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011)

Tabela 1 – Sugestão de escala para avaliação dos efeitos dos modos de falha

Severidade do efeito	Descrição	Escala
Muito alta	Quando compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	9 ou 10
Alta	Quando provoca alta insatisfação do cliente, por exemplo, um veículo ou aparelho que não opera, sem comprometer a segurança ou implicar infração	7 ou 8
Moderada	Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda do desempenho ou mau funcionamento de partes do sistema	5 ou 6
Baixa	Quando provoca uma leve insatisfação, o cliente observa apenas uma leve deterioração ou queda no desempenho	3 ou 4
Mínima	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes talvez nem mesmo note sua ocorrência	1 ou 2

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2011)

Quanto à avaliação da Ocorrência, na Tabela 2 é apresentada sugestão de escala para isto. A ocorrência tem haver com a probabilidade que uma causa ou mecanismo listado antes ocorra. Normalmente, para reduzir a probabilidade de ocorrência da causa ou mecanismo, é vital que se façam alterações no projeto (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Tabela 2 – Sugestão de escala para avaliação da ocorrência da causa de falha em projetos

Frequência de Ocorrência de Falha	Taxa de Falha	Valor de Ocorrência	Escala
Muito alta	Falhas quase inevitáveis;	100/1000	10
		50/1000	9
Alta	Falhas ocorrem com frequência;	20/1000	8
		10/1000	7
Moderada	Falhas ocasionais	5/1000	6
		2/1000	5
		1/1000	4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	0,5/1000	3
		0,1/1000	2
Mínima	Falhas muito improváveis	0,01/1000	1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2011)

E para avaliar a Detecção, pode ser utilizada a Tabela 3. A detecção se relaciona com uma estimativa da habilidade dos controles atuais detectarem causas ou modos potenciais de falha antes mesmo do componente ou subsistema ser liberado para manufatura. Utiliza-se uma escala qualitativa de 1 a 10, onde 1 representa uma situação favorável (modo de falha será detectado) e 10 representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado).

Tabela 3 – Sugestão de escala para avaliação da detecção em projetos.

Possibilidade de detecção	Descrição	Escala
Muito Remota	O PVP não irá detectar esse modo de falha, ou não existe PVP	10
Remota	O PVP provavelmente não irá detectar esse modo de falha	8 ou 9
Baixa	Há uma baixa probabilidade de o PVP detectar o modo de falha	6 ou 7
Moderada	O PVP pode detectar o modo de falha	4 ou 5
Alta	Há uma alta probabilidade de o PVP detectar o modo de falha	3
Muito Alta	É quase certo que o PVP irá detectar esse modo de falha	1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2011)

Ainda sobre a Detecção , Fogliatto e Ribeiro (2011) sugerem para reduzir a pontuação, melhorar o programa de validação/ verificação do projeto (PVP), além disso, indicam quer o critério de avaliação deverá ser escolhido por consenso e sua utilização realizada com consistência.

A partir do momento que os avaliadores obtêm as classificações de Severidade(S), Ocorrência (O) e Detecção(D) é possível calcular o Risco (R). Pois este é o resultado do produto dos anteriores, este parâmetro segundo Fogliatto e Ribeiro (2011) é calculado para priorizar as ações de correção e melhoria do projeto.

Quanto às medidas para a redução ou eliminação, se consegue, através de ações que maximizem a probabilidade de detecção ou diminuam a probabilidade de ocorrência da falha. A severidade é apresentada como um índice que não pode ser reduzido ou eliminado, pois depende somente do nível de transtorno que o efeito da falha gera ao cliente. Com o objetivo de alcançar o risco(R) associado a cada modo de falha, multiplica-se a pontuação da severidade (S) pela ocorrência (O) e pela detecção (D). Para classificar os riscos, pode-se ter, por exemplo, uma escala que vai de 1 a 1000 pontos, sendo 1 um baixíssimo risco e 1000 um risco crítico ao cliente. (FERNANDES; REBELATO, 2006)

2.3.3 Aplicações do FMEA

UM FMEA pode ser utilizado em diversas situações, tais como: diminuir a Probabilidade da Ocorrência de Falhas em Projetos de novos Produtos ou processos; para diminuir a probabilidade de Falhas potenciais (que ainda não tenham acontecido) em produtos e/ou processos já em operação; para aumentar a confiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio da Análise das falhas já ocorridas; para reduzir riscos de erros e elevar a qualidade em procedimentos administrativos (Lobo, 2020).

A citada ferramenta é considerada poderosa, bem organizada e eficiente. Permitindo aos usuários identificar e a classificar as falhas, além disso, possibilita a elaboração de um plano de ação para a falha crítica e a melhora da confiabilidade do sistema, porém, existem alguns pontos fracos, como por exemplo: Os três fatores são considerados de igual importância; O mesmo valor Risco pode ser o produto de grupos diferentes das classificações O, S e D. Somente três fatores estão envolvidos na priorização da falha, e, além disso, alguns fatores cruciais, como tempo, capacidade de manutenção ou custo não são integrados no julgamento de falha (MZOUGUI; FELSOUFI, 2019).

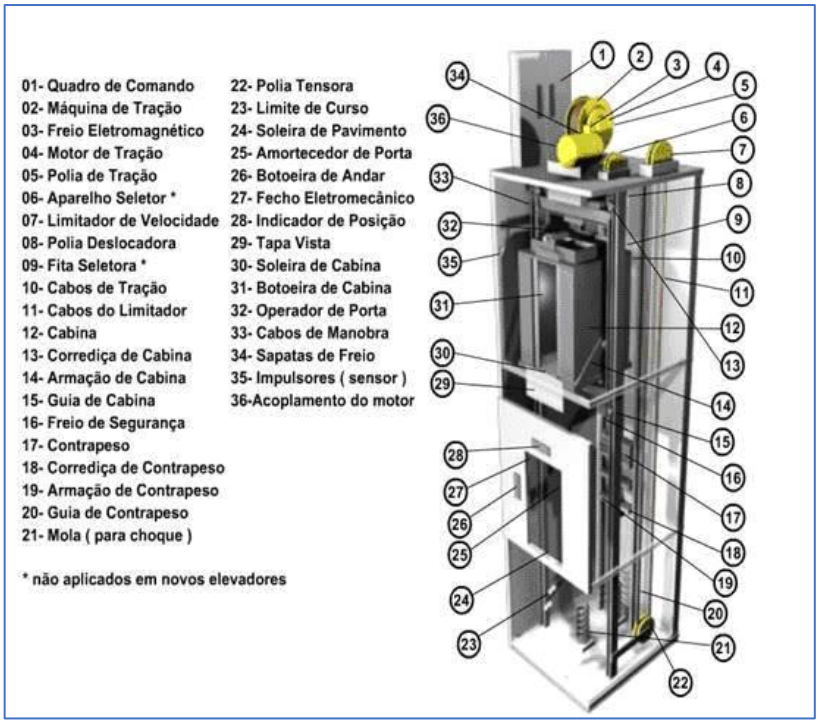
Já em Subriadi e Najwa (2020) foram utilizados dois FMEA numa pesquisa envolvendo riscos relacionados à Tecnologia da Informação. Nesta, foram apontados alguns defeitos para o FMEA tradicional, sendo proposto um FMEA melhorado para a resolução de problemas. Os autores indicam que obtiveram uma correlação em relação à consistência de uma pesquisa muito alta utilizando o primeiro (0,848), mas uma correlação quase perfeita de 0,937. Percentualmente seria uma diferença de 10 %%.

Assim, dependendo da necessidade, o uso do FMEA tradicional pode ser suficiente, principalmente quando as possibilidades de falha não ponham em risco a saúde dos envolvidos e comprometimento de altos níveis de recurso, desta forma, a aplicação do caso laboratorial deste trabalho, o uso do FMEA tradicional já se mostra suficiente.

2.4 COMPOSIÇÃO DE ELEVADORES DE PASSAGEIROS

Um elevador feito para transportar passageiros deve respeitar normas técnicas como a NBR 207:1999 (Elevadores elétricos de passageiros - Requisitos de segurança para construção e instalação), a NBR 5665:1987 (Cálculo no tráfego dos elevadores) e a NBR 14712:2013 (Elevadores elétricos e hidráulicos — Elevadores de carga, monta-cargas e elevadores de maca — Requisitos de segurança para construção e instalação). Sua composição exige, pela natureza de seu funcionamento, os mais diversos componentes. Na Figura 2 se apresenta um exemplo de como pode ser a constituição de um Elevador de Passageiros.

Figura 2 – Exemplo da Constituição de Um Elevador de Passageiros



Fonte: Elevadores. SC (2020).

Quanto à velocidade dos elevadores atuais, a velocidade de locomoção das cabines vai de uma velocidade de 30 m/min. (para plataformas elevatórias e monta-prato), até a velocidade de 300 m/min. em elevadores de centros comerciais fluxo grande de passageiros e alturas elevadíssimas (PAULA, 2014).

2.5. ELEVADORES DIDÁTICOS

Nesta seção serão abordados temas que se relacionam com o desenvolvimento, melhorias e composição de Elevadores Didáticos, além de outros que possam contribuir para entendimento do assunto.

2.5.1. Desenvolvimento de Elevadores Didáticos

Em Melo et al. (2019) foi visto um trabalho que o objetivo geral era desenvolver um protótipo que seja capaz de solucionar a problemática sobre movimentação de materiais. No Projeto a dúvida inicial era entre construir uma esteira rolante ou um elevador de carga, sendo este último o escolhido devido ao menor espaço requerido para sua instalação.

2.5.2. Melhorias em elevadores didáticos

Alguns trabalhos sobre melhorias em elevadores didáticos foram encontrados na literatura, como pode ser visto em Paula (2014) onde foi realizado um *retroffiting* de um protótipo de elevador didático utilizando um Controlador Lógico Programável (CLP) com PIC 16F877A como lógica principal de acionamento e, um inversor de frequência CFW 09 para acionar e controlar o motor de indução trifásico.

Também utilizando um CLP, foi visto em Thabet, Jameel e Hasan (2018), a reabilitação e desenvolvimento de um antigo Protótipo de elevador didático tradicional de três andares que havia num laboratório, O CLP foi conectado ao circuito elétrico tradicional do elevador para desenvolver seus circuitos de controle e desta maneira Cerca de 42% do antigo sistema de controle tradicional foi substituído por um novo.

2.5.3. Composição de elevadores didáticos

O sistema do Elevador Didático visto em Paula (2014) é composto basicamente por quatro subsistemas que podem ser vistos no Quadro 1

Quadro 1 – Subsistemas que compõe o Sistema de um Elevador

SUBSISTEMA	DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA
Controle Lógico	Recebe os sinais que vêm do poço executando funções lógicas e aritméticas de acordo com o programa gravado sendo considerado o cérebro do elevador
Acionamento	Parte que recebe os sinais vindos das operações lógicas do Subsistema de Controle Lógico e faz o acionamento do subsistema de Potência
Potência	Parte que controla os atuadores do sistema do elevador, fazendo movimentar o sistema mecânico do elevador (motor de tração, motor de operador de porta etc.) composto por unidades de potência como inversores de frequência, módulo com IGBT de potência, ciclo-conversor, entre outros
Sinais	Sinais de poço que configuram a interface de controle com o usuário, coletando os sinais de botoeiras e indicando os sinais de posição e direção do elevador.

Fonte: Elaboração Própria, adaptado de Paula (2014)

Todavia, na pesquisa foram encontrados casos mais detalhados como em Melo et al. (2019), onde são expostas além das Partes ou Subsistemas, os seus componentes, função e outros, sendo que no Quadro 2 parte disso é apresentada.

Quadro 2 – Lista de componentes utilizados na montagem

PARTE	COMPONENTES	QUANT.	FUNÇÃO
Estrutura	Chapa de madeira de 8 mm	1	Suportar o sistema elétrico
Sistema de fixação	Pregos	?	Fixar a madeira e demais componentes
	Cola	1	Fixar a madeira e demais componentes
Sistema Elétrico	Trilho de Ferro	1	Movimentar a cabine
	Motor DC	1	Movimentar a cabine

	Sensores de contato	2	Permitir a Parada da cabine nos pavimentos superiores ao térreo
	Liga plástica	1	Frear no final do processo de locomoção
	Correia	1	Locomover a cabine
	Fios	?	Conduzir eletricamente os comandos do sistema
	CLP (SR2B121BD)	1	Processar os comandos do sistema
	Botão de acionamento	1	Iniciar o processo de movimentação
	Cabine de elevador	1	Locomover entre os pavimentos

Fonte: Melo *et al.* (2019).

É interessante citar que nesta última montagem, aproximadamente 66% de todo o seu material de montagem reutilizado de sucata, apresentando uma preocupação em reutilizar materiais que a princípio iriam virar resíduo. Isso se relaciona com sustentabilidade.

Já em Mélo, Dias e Steinbach (2011) foi visto um protótipo de um elevador didático, que os próprios autores classificaram como rudimentar e que foi construído para uso em exercícios de aplicação dos kits didáticos. Para experimentação, sua construção usou:

- Um módulo central (de CPLD, de microcontrolador ou de USB conectado a um computador) para controlar o sistema;
- Um módulo de relés para comandar o acionamento do motor;
- Um conjunto de interruptores do tipo “fim de curso” para determinar o andar em que o elevador se encontra;
- Um módulo de botões permite a chamada do elevador;

E mais um exemplo de que materiais usar na construção de um Elevador Didático foi visto em Weiss, Gasparin e Schling (2011) e é exposta na .Tabela 4.

Tabela 4 – Material utilizado num dos Elevadores Didáticos

ÍTEM	Quantidade	Descrição	Valor -2011 (R$)

1	**9**	Sensor Indutivo Schmersal	585,00
2	**16**	Botão de pressão	56,00
3	**1**	Motor 220Vca	70,00
4	**1**	Mancal	10,00
5	**1**	Disjuntor Motor Simens	123,50
6	**2**	Contator Siemens	85,00
7	**2**	Relés 24 Vcc	80,00
8	**6**	Cantoneira ¾’	27,00
9	**6**	Cantoneira 1’	36,00
10	**6**	Tubo 20/30	32,00
11	**1**	Capacitor 20 µF	20,00
12	**35**	Cabo 1x0,30 mm²	17,00
13	**6**	Cabo 1x4,0mm²	4,00
14	**27**	Borne SAK 2,5mm²	75,00
		Total	**1.220,50**

Fonte: Weiss, Gasparin e Schling (2011) ,

Nesta Tabela, além da quantidade e tipo de materiais, é divulgado o Valor destes. Esta informação é interessante, pois na Revisão bibliográfica realizada foram raros os casos que isto ocorreu. Considerando que o Custo é uma restrição do Projeto, trata-se de informação importante para os envolvidos neste. Porém como foi em 2011, foi realizada uma atualização do Valor Total, através de ferramenta que o Banco Central do Brasil disponibiliza.

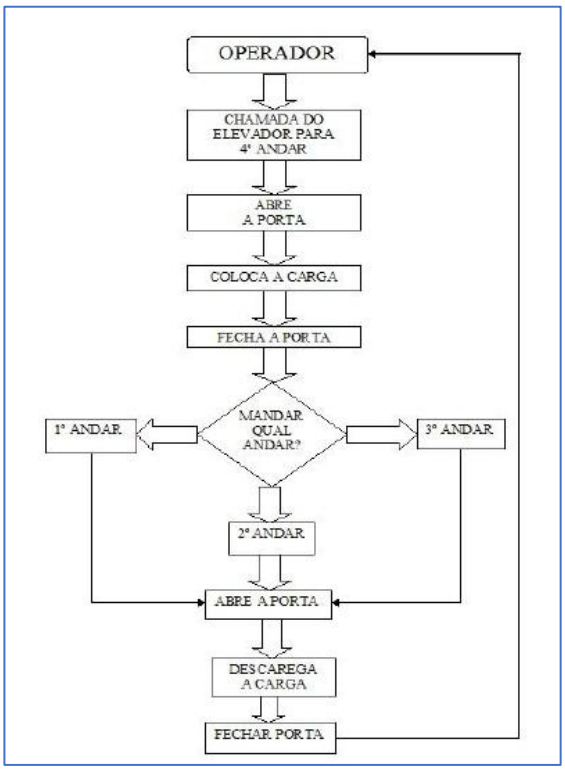
Desta maneira, foi visto que sendo corrigido pelo índice Geral de Preços do Mercado da Fundação Getúlio Vargas (IGPM-FGV), o valor que em dezembro / 2011 era R$ 1220,50 seria R$ 2309,99 em outubro de 2020.

Quanto ao Projeto e Execução Mecânica, o protótipo do elevador se apresenta como um modelo reduzido de um elevador de carga industrial, possuindo 4 andares, sendo sua estrutura com dimensões de 1.50m de altura por 0.28m de largura e 0.33m de comprimento, e as laterais foram executadas com tubo 20x30mm sendo fixados em cantoneiras de 1”. Para a realização da montagem foi utilizada solda MIG (WEISS; GASPARIN; SCHLING, 2011).

2.5.4. Descrição do funcionamento de elevadores didáticos

Em relação à descrição do funcionamento de Elevadores Didáticos, pode ser citado o visto em Weiss, Gasparin e Schling (2011), apresentado na através de um Fluxograma na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de Funcionamento de Elevador Didático



Fonte: Weiss, Gasparin e Schling (2011)

Já em Thabet, Jameel e Hasan (2018), foi descrito como ficou o funcionamento do elevador didático que passou por melhorias realizadas:

- O botão A1 ou B1 do térreo é pressionado;
- O motor funcionará até que a cabine alcance a posição necessária e ativa o sensor para parar o motor, mas se a cabine estiver no piso desejado; o motor não será operado;
- Também pressionando o botão A3 ou B3 do segundo andar; o motor funcionará tanto fazendo a cabine subir quanto descer e quando a cabine atinge a posição desejada; um sensor será ativado e para o motor.

OBS: O motor do elevador não funcionará se a cabine estiver no andar onde sua chamada foi solicitada.

- Este conceito também funciona para outros andares ou pavimentos.

2.6. KIT DIDÁTICO SERVOACIONAMENTO WEG

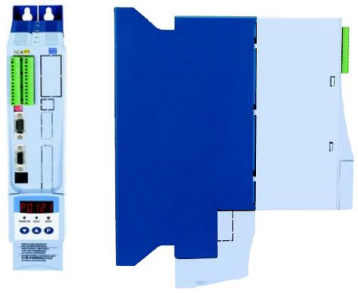
Um Kit Didático pode ser definido como um equipamento formado por diversos módulos, que ao serem agrupados através das montagens realizadas pelos alunos, possibilite que estes presenciem a aplicação dos conhecimentos adquiridos na sala de aula através da observação, coleta, organização e interpretação de dados associados aos ensaios ou experimentos realizados em Laboratório.

Em muitos casos, os Kits Didáticos necessitam de uma bancada para que os módulos sejam encaixados, sendo este o caso do KIT DIDÁTICO WEG. A bancada principal, de acordo com WEG ([2000-?]), é um equipamento didático modular manufaturado em estrutura de alumínio que possui dois postos de trabalho que servirão de base para utilização de qualquer um dos kits disponíveis (eletrotécnica, medidas elétricas, simulador de defeitos, controle de velocidade de motores CA, controle de velocidade de motores CC, partida estática softstarter, controlador lógico programável CLP ou servoacionamento)

2.6.1 Servoacionamento WEG SCA 05

O servoconversor SCA-05, conforme pode ser visto em WEG (2006) é um produto que permite o controle de velocidade, torque e posição de servomotores de Corrente Alternada (CA). Na Figura 4 se apresenta uma imagem ilustrativa do SCA 05

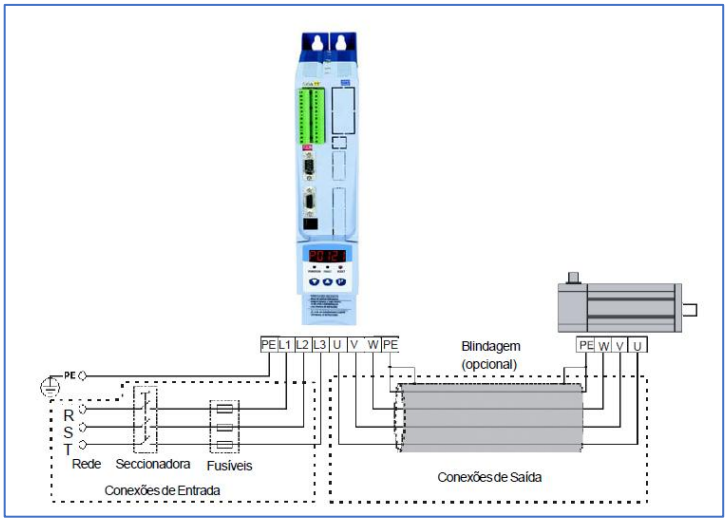
Figura 4 – Uma das imagens do Servoconversor SCA-05



Fonte: Weg (2006)

Este equipamento foi pensado para controlar o servomotor. Para isto necessita de ser alimentado pela tensão de rede adequada e por sua vez alimentar a máquina já citada. Na Figura 5 podem ser observadas as conexões de Potência e Aterramento do Servoconversor.

Figura 5 – Conexões de Potência e Aterramento do Servoconversor

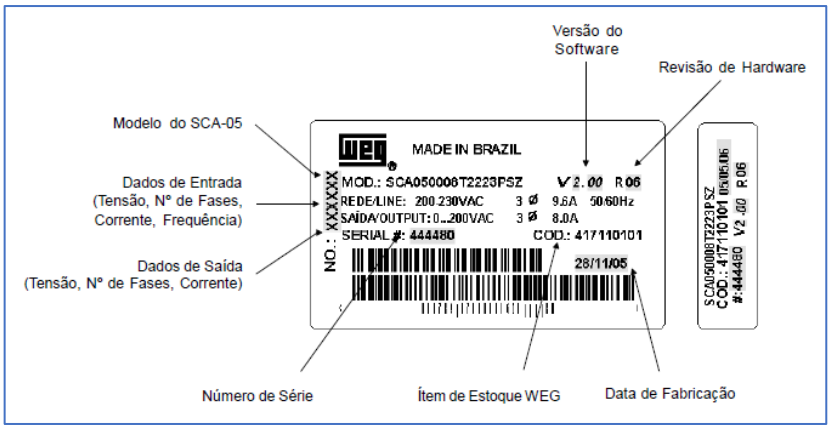


Fonte: Weg (2006)

A rede adequada para a sua alimentação é a determinada na sua etiqueta de dados, que traz além destas diversas outras informações importantíssimas que podem ser vistas na

Figura 6.

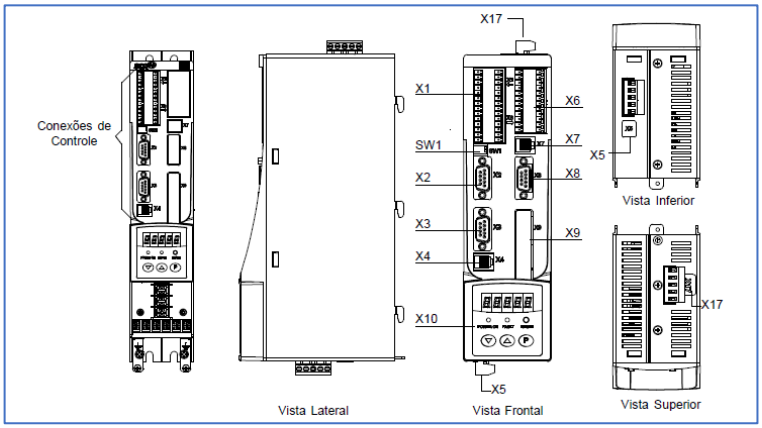
Figura 6 – Etiqueta de Dados do Servoconversor



Fonte: Weg (2006)

Porém o SERVOCONVERSOR não vai controlar o SERVOMOTOR apenas com a tensão de alimentação e de saída, pois necessita de entradas e saídas que serão processadas permitindo ao sistema alcançar o resultado esperado. Assim, serão necessárias conexões de sinais e controle, apresentadas em WEG (2016) que podem ser vistas na.Figura 7.

Figura 7 – Conexões de sinais e controle do Servoconversor



Fonte: Weg (2006)

A seguir, são identificadas as funções de cada conexão, conforme visto em WEG (2016).

X1: Entradas / Saídas Analógicas, Entradas / Saídas Digitais
X2: Entrada do Resolver
X3: Saída do Simulador de Encoder
X4: SerialRS-232 (Servoconversor)

X5: Rede de comunicação CAN (Servoconversor)
X6: Entradas / Saídas Analógicas, Entradas / Saídas Digitais (Cartão POS2, (opcional), ver respectivo manual)
X7: Serial RS-232 (Cartão POS2, (opcional), ver respectivo manual) /Alimentação (Cartão CEP1, (opcional), ver respectivomanual)
X8: Entrada de encoder (Cartão POS2, (opcional), ver respectivo manual)
X9: Rede de comunicação Fieldbus
X10: MóduloHMI ouMódulo para conexão HMI Remota (ver Cap. 8, item 8.3)
X17: Rede de comunicação CAN (cartão POS2 (opcional), ver respectivo manual)

SW1:Seletor das entradas analógicas (on = Corrente , off = Tensão)

Nem todas as entradas são utilizadas, pois vai depender da necessidade de cada aplicação. Todavia uma destas conexões é geralmente utilizada, sendo a X1, desta maneira será mais bem descrita aqui, pois é neste conector que devem ser feitas as conexões de controle do SCA-05, tais como: Entradas digitais para receberem comandos de Habilita/Desabilita, Reset de erro; Saídas digitais para sinalização de Erros, Habilita/Desabilita; Entradas analógicas para receberem o sinal de referência de velocidade, torque ou posição ; Saídas analógicas para prover sinais proporcionais à velocidade , torque, posição, corrente e outras.

Mas para que estas entradas e saídas sejam úteis terá que haver a parametrização do serconversor, é através deste procedimento que será informado o tipo de controle, a função de cada entrada e cada saída, rampa de aceleração e desaceleração, limitações de sobrecarga e outras proteções, enfim, para que este equipamento funcione deverá de ser corretamente parametrizado e isto pode ser feito através da interface homem-máquina (IHM) vista na .Figura 8.

Figura 8 – IHM de um Servoconversor.

Fonte: Elaboração Própria.

Alguns dos parâmetros mais importantes são os da configuração das entradas, que podem ser analógicas e digitais, alguns destes são apresentados no Quadro 3 – Parâmetros relacionados a entradas analógicas e digitais.

Quadro 3 – Parâmetros relacionados a entradas analógicas e digitais

PARÂMETRO	FUNÇÃO	OPÇÕES
P232	Função Entrada Analógica AI1	0=Desabilitada 1=Ref. de Corrente (Torque) 2=Ref. de Velocidade 3=Ref. de Posição 4=Habilitada (POS2, MOVE ou soma das Als)
P237	Função Entrada Analógica AI2	
P263	Função Entrada Digital DI1	0=Sem Função 1=Habilitado / Desabilitado 2=Função Stop 3=Sem Função 4=Sem Função 5=Fim de curso anti-horário 6=Reset dos Erros por borda de descida 7=Sentido de Giro 8=Modo Torque/Velocidade 9=Modo Torque/Posição 10=Modo Velocidade/Posição 11=FunçãoMOVE: 1Pos.Ciclo1 12=FunçãoMOVE: 1Pos.Ciclo 2 13=FunçãoMOVE: 1Pos.Ciclo 3 14=FunçãoMOVE: 1Pos.Ciclo 4 15=FunçãoMOVE: 1Pos.Ciclo 5 16=FunçãoMOVE: 1Pos.Ciclo 6 17=FunçãoMOVE: 1Pos.Ciclo 7 (...) 50=Erro Externo
P264	Função Entrada Digital DI2	
P265	Função Entrada Digital DI3	
P266	Função Entrada Digital DI4	
P267	Função Entrada Digital DI5	
P267	Função Entrada Digital DI6	

Fonte: Elaboração Própria. Adaptado de Weg (2006).

Nesta Figura pode ser visto que existem 2 entradas analógicas (AI1 e AI2) e 6 entradas digitais (DI1 A DI6), o interessante é que se o usuário escolher usar a entrada DI1, que fisicamente se localiza no pino 23 da conexão X1, conforme visto em WEG (2016), esta entrada terá 50 opções para ser parametrizada.

2.6.2 Servomotor

Os servomotores WEG – linha SWA podem ser descritos como motores de corrente alternada *brushless* (sem escovas) a imãs permanentes de terras raras. Estes equipamentos são projetados para atender as elevadas dinâmicas e demandas de máquinas dosadoras, bobinadeiras, máquinas-ferramenta, máquinas de corte e solda (WEG, 2006).

Estas máquinas são fechadas (Proteção IP65) e ausentes de ventilação forçada (refrigeração natural), além disso, são flangeados e podem ser instalados em posição horizontal ou vertical. A realimentação desse tipo de servomotores SWA é feita através de “Resolver”, possui termistores no estator a fim de proteger contra sobre-temperatura, e retentor no eixo para impedir penetração de óleo. (WEG, 2006).

Na Figura 9 podem ser observados diversos tipos de servomotores, sendo possível observar que existem diversos tamanhos para esta linha.

Figura 9 – Servomotores de diferentes tamanhos

Fonte: WEG (2006)

É recomendável que o alinhamento do servomotor seja cuidadosamente executado, para evitar que cargas ou vibrações excessivas danifiquem o eixo e rolamentos. Existe um furo rosqueado na ponta do eixo que pode ser usado para facilitar a colocação de polia ou luva de acoplamento. Estes elementos de máquinas

podem ser colocados a quente (80°C a 90°C), ou por prensagem. Nunca se deve montar o acoplamento ou polia mediante batidas ou impactos, desta forma os rolamentos seriam danificados WEG (2006).

O Resolver montado na parte traseira do servomotor disponibiliza sinais para o controle da velocidade e posição do rotor do servomotor. A ligação do Resolver ao servoconversor é realizada por um conector circular, sendo a precisão de posicionamento limitada pelo Resolver (dispositivo de realimentação de posição) e é de + 10 minutos de arco (1° = 60min. De arco) (WEG, 2006).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo será classificada a pesquisa de acordo com alguns dos critérios possíveis, além de, ocorrer à apresentação dos tipos e fontes dos dados; ambiente da pesquisa; sujeitos da pesquisa; modelo de análise; instrumento de pesquisa; instrumentos de tratamento dos dados e as limitações da pesquisa, entre outros aspectos metodológicos.

3.1. Classificação da Pesquisa

Este trabalho pode ser considerado uma Pesquisa Qualitativa, de acordo com Mattar (1999) o conhecimento é proporcionado por meio dos significados dos sujeitos participantes da pesquisa e isto aconteceu quando o Grupo de Trabalho do FMEA identificou e mensurou o nível de elementos que possivelmente iriam gerar falhas no Protótipo estudado.

Por outro lado, também foi uma Pesquisa Quantitativa, quando se originou de um plano pré-estabelecido com variáveis claramente definidas, como tempo médio até a primeira falha e tempo médio de reparo, buscando medir e quantificar os resultados da confiabilidade, organizando-os em dados.

Também é uma pesquisa experimental, uma vez que nestas, segundo Vergara (1997) o pesquisador pode controlar e manipular as variáveis. Isto ocorreu quando a velocidade e posicionamento do servomotor e consequentemente da cabine do elevador.

E finalmente, foi um estudo de caso, já que procurou conhecer a realidade de um indivíduo, organização ou grupo de forma profunda. E isto foi feito para o Protótipo do Elevador Didático aqui avaliado.

3.2. Tipos e fontes dos dados

Os dados desta pesquisa foram tanto qualitativos quanto quantitativos. Quanto ao primeiro Tipo podem ser citados os seguintes dados: Projeto do Elevador Didático para o LMA; observações feitas em loco e registradas através de fotos e vídeos; consultas na literatura especializada a respeito de produtos similares; contribuições dos componentes da equipe de trabalho FMEA e quanto o seguindo tipo podem ser citadas: A cronometragem de tempo nos ensaios planejados, sendo considerado o tempo até a primeira falha, tempo de manutenção e tempo de operação.

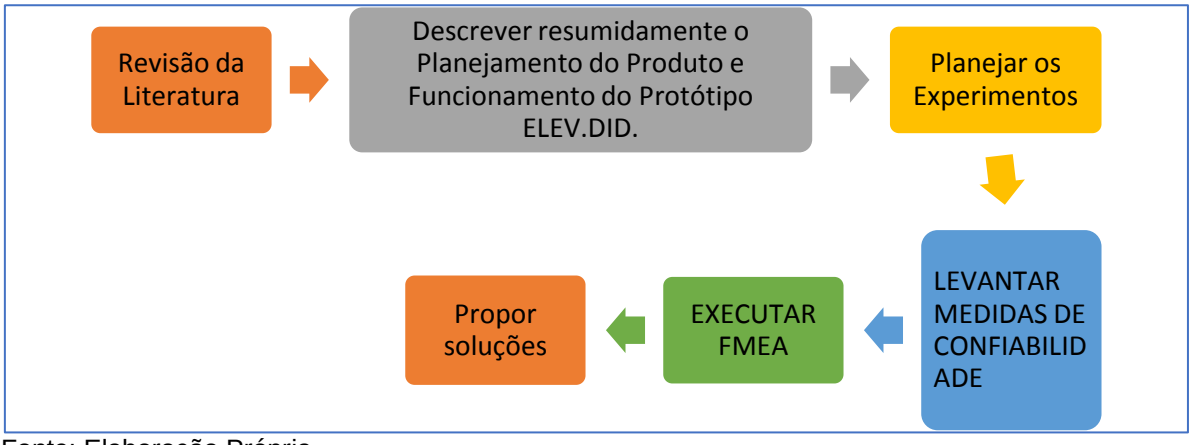
3.3. Ambiente da Pesquisa

A Pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Máquinas e Acionamentos que pertence ao Departamento de Engenharia Elétrica (D.E.E.) do Centro de Energias, Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba, mas atualmente este e todos os Laboratórios do DEE estão localizados no Centro de Tecnologia, sendo o LMA no bloco M.

3.4. Estrutura da Pesquisa

Na Figura 10 é apresentada a estrutura da pesquisa realizada

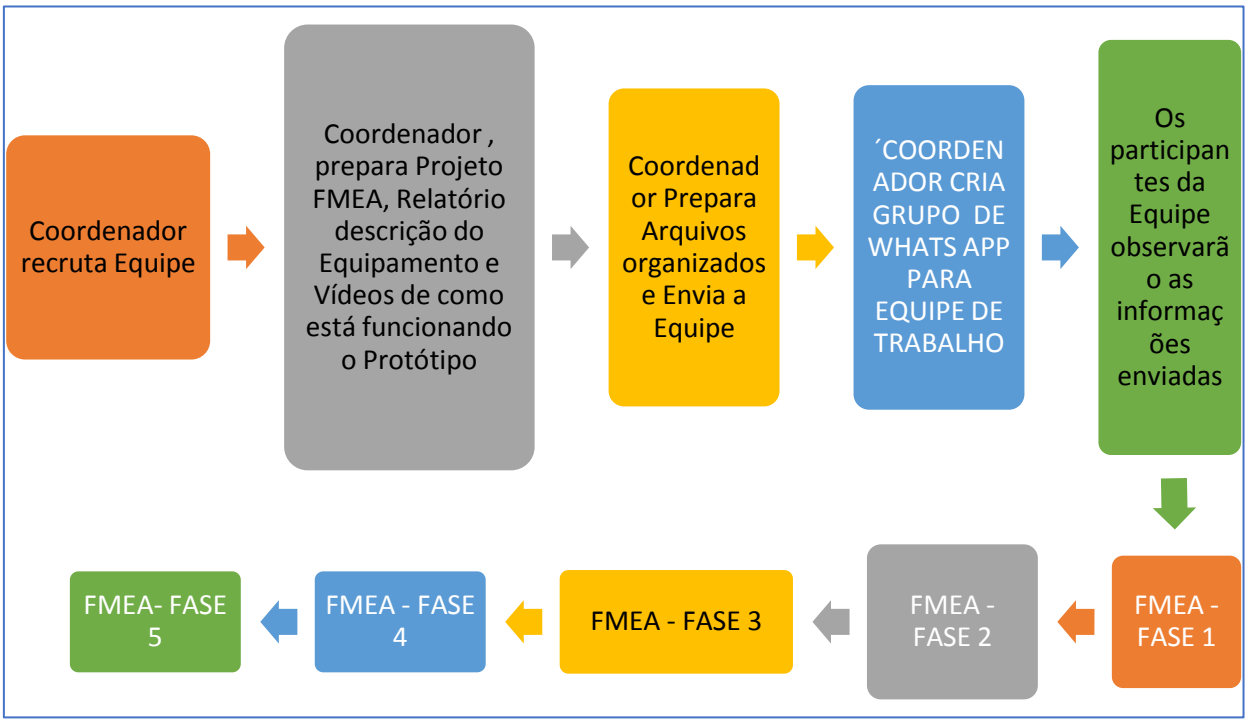
Figura 10 – Estrutura da Pesquisa



Fonte: Elaboração Própria.

Quanto à etapa referente a “EXECUTAR FMEA” Na Figura 11, está ilustrado como foi executado o FMEA.

Figura 11 – Metodologia execução do FMEA – Protótipo elevador didático LMA



Fonte: Elaboração Própria.

A seguir serão detalhadas as fases da FMEA:

- FMEA (FASE 1): identificar modos de falha conhecidos e potenciais;
- FMEA (FASE 2): identificar efeitos individualmente dos modos de falha e a sua respectiva severidade;
- FMEA (FASE 3): identificar as causas que podem ocorrer para cada modo de falha e a sua probabilidade de ocorrência;
- FMEA (FASE 4): identificar os meios de detectar o modo de falha e sua probabilidade de detecção
- FMEA (FASE 5): avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e determinar medidas para sua redução. ou eliminação

3.5. Sujeitos da pesquisa

No Quadro 4 serão expostos quais foram os sujeitos da pesquisa que participaram do Grupo FMEA que foi formado.

Quadro 4 – Sujeitos da Pesquisa e Informações associadas

SUJEITO	PERFIL	ETAPAS DA PESQUISA
1	Mestre em Engenharia de Produção; Graduando em Engenharia de Produção Mecânica; Técnico em Eletrônica; trabalhou 13 anos na área de Manutenção Industrial e há praticamente 10 anos é o Técnico responsável do LMA.	Planejar e coordenar o FMEA, além de identificar, para o produto/Projeto e suas funções, os tipos de falha que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas dessa falha. Em seguida, avaliar os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nessa avaliação, sugerir ações necessárias para diminuir os riscos relacionados ao planejamento e projeto do produto, processo de montagem e instalação do produto; concepção do experimento.
2	Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações, graduando de Licenciatura em Física e Eletrotécnico. É Técnico Laboratório de Automação e Controle, participando da montagem de diversos Projetos.	Identificar, para o produto/Projeto e suas funções, os tipos de falha que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas dessa falha. Em seguida, avaliar os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nessa avaliação, sugerir ações necessárias para diminuir os riscos relacionados a elementos eletroeletrônicos utilizados no projeto/produto
3	Engenheiro Mecânico Trabalha numa Indústria Têxtil há mais de 20 anos na área de Manutenção e Projetos e recentemente participou de um grupo de trabalho FMEA.	Identificar, para o produto/Projeto e suas funções, os tipos de falha que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas dessa falha., avaliar os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nessa avaliação, sugerir ações necessárias para diminuir os riscos relacionados a elementos de máquinas utilizados no projeto/produto.
4	Doutorando em Engenharia de Materiais, Mestre em Engenharia de Materiais, Engenheiro de Materiais, Físico e foi Técnico em Mecânica trabalhando na área de Projetos por mais de 10 anos.	Identificar, para o produto/Projeto e suas funções, os tipos de falha que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas dessa falha. em seguida, avaliar os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nessa avaliação, sugerir ações necessárias para diminuir os riscos relacionados a materiais utilizados no projeto/produto

Fonte: Elaboração Própria.

3.6. Modelo de análise

O modelo de análise da pesquisa pode ser descrito através do Quadro 5, onde se expõe que ferramentas de mensuração e instrumento de coleta de dados serão utilizados para o alcance dos objetivos específicos.

Quadro 5 – Modelo de Análise da Pesquisa

OBJETIVO ESPECÍFICO	FERRAMENTAS DE MENSURAÇÃO	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
Descrever o Elevador didático desenvolvido e seu funcionamento	Ferramentas que Caracterizem o Protótipo	Diagrama Ilustrando Desenvolvimento do Protótipo; Descrição textual, com Fotos e Vídeos de como está funcionando o Produto; Esquema Conceitual do Elevador; Quadros relacionando cada componente com sua Função; Fluxograma Da Montagem Do Elevador Didático – Lma.
Planejar os Experimentos que serão realizados utilizando o Produto em análise	Observar se o experimento planejado oferece condições para que os dados e as informações desejadas estejam sendo obtidas durante os experimentos.	Fluxograma do ensaio a ser realizado no elevador didático (1 ciclo completo)
Identificar as possíveis falhas e seus respectivos efeitos	Observações durante os Experimentos/ Ensaios; Conhecimento prévio a respeito dos elementos de máquinas ou o funcionamento de equipamentos similares	FICHA FMEA
Mensurar a ocorrência das falhas antes do processo de melhoria	*MTTF* (tempo médio entre falhas)	TABELA COM DADOS DOS ENSAIOS DE CONFIABILIDADE
	MTTR (tempo médio até conclusão de reparos feitos na unidade)	QUADRO DE INDICADORES DE

	Disponibilidade	CONFIABILIDADE DO FUNCIONAMENTO DO ELEV. DID.LMA
	Confiabilidade	
Analisar as causas das falhas	Observações durante os Experimentos/ Ensaios; Conhecimento prévio a respeito dos elementos de máquinas ou o funcionamento de equipamentos similares	Fichas FMEA

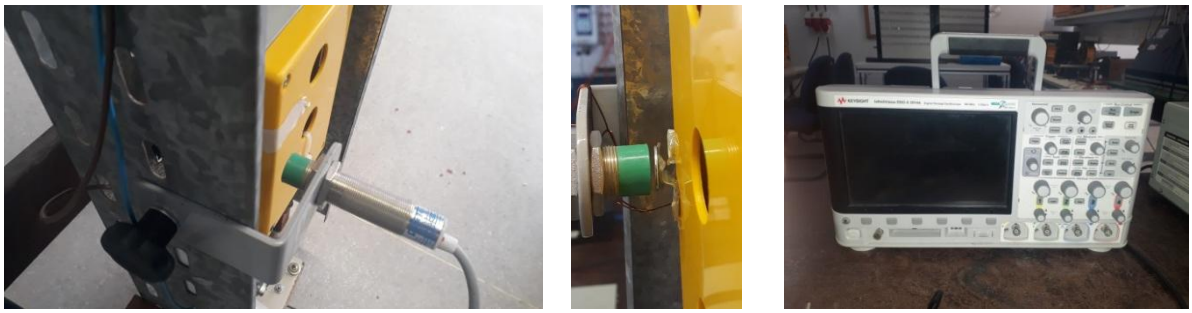
Fonte: Elaboração Própria.

3.7. Instrumento de pesquisa

3.7.1. Instrumentos de coleta de dados

No levantamento de confiabilidade: foram instalados 3 sensores, sendo um para cada posição; estes sensores são alimentados através de uma fonte D.C. fornecendo 24 Vdc e os seus sinais monitorados através de um osciloscópio, através disto será possível levantar as seguintes variáveis: tempo para o primeiro erro; tempo entre erros; quantidade de erros/falhas por período de tempo.

Figura 12 – Sensor de presença rente à cabine e osciloscópio



(a)Sensor de Presença

(b) Sensor rente a atuador

(c) Osciloscópio

Na Figura 12a é possível ver todo o sensor de presença, mas é na Figura 12b que é visto o sensor rente ao atuador que foi fixo na cabine, de forma que o sensor é ajustado para só atuar quando estiver na frente dele, ou seja, não é qualquer parte da cabine que atua o sensor. O sinal oriundo deste sensor foi captado pelo osciloscópio presente na Figura 12c.

No FMEA foram utilizados ferramentas como *brainstorming,* VÍDEOS do funcionamento do Elevador Didático (Que foram enviados para a Equipe para dar base às discursões).

3.7.1. Instrumentos de tratamento dos dados

Para o levantamento da Confiabilidade foi utilizado o software PROCONF, alimentado com os dados dos ensaios, executando ciclos completos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos os resultados e as respectivas discussões a respeito desses que envolverão o alcance dos objetivos inicialmente propostos, que concerne à descrição do Elevador didático desenvolvido e seu funcionamento; Planejamento dos Ensaios que serão realizados utilizando o Produto em análise e outros que serão expostos aqui.

4.1. DESCRIÇÃO DO KIT WEG SERVOACIONAMENTO DO LMA

O Kit Didático SERVOACIONAMENTO é composto pelo seguinte material: 1 Servoconversor (Placa P024); 1 Servomotor; 3 fusíveis 16 A (Placa P012); 1 Contactor (Placa P053); 3 Botões pulsadores verdes (Placa P019); 3 botões pulsadores vermelhos (Placa P020); 3 Sinaleiros verdes (Placa P029) e 3 Sinaleiros vermelhos (Placa P067). Algumas das Placas podem ser vistas na Figura 13, para deixar claro que os módulos ou placas são soltos e são inseridas na bancada por quem irá montar o experimento e dependendo do experimento proposto.

Figura 13 – Placas ou módulos WEG expostos separadamente

(a) Placa P053 (b) Placa P012 (c) Placa P067

Fonte: Elaboração Própria.

Cada placa vista nesta Figura contém bornes pretos conhecidos como Borne para plug banana. Através destes e por meio de cabos com terminais plug banana, que são apresentados na Figura 14, é possível conectar um elemento a outro.

Na Figura 14a) é possível ver que existem cabos de diversos tamanhos e cores, sendo o seu plug, conhecido como plug banana apresentado em destaque na Figura 14b, que pode ser conectado um no outro conforme visto na Figura 14 (c).

Figura 14 – Cabos, Plug Banana e forma de encaixe.

(a) Diversos Cabos

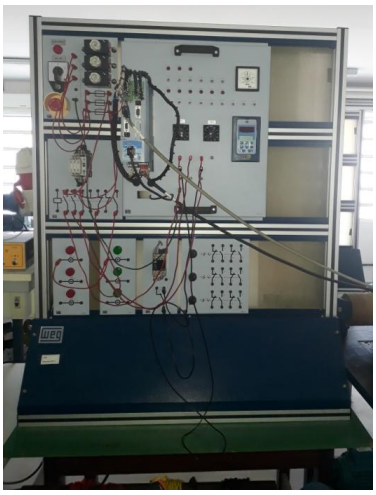
(b) Plug Banana

(c) Plugs encaixados

Fonte: Elaboração Própria.

Desta forma, após a inserção das placas na bancada didática e conexão através de cabos já apresentados entre os diversos componentes o experimento relacionado ao Kit SERVOACIONAMENTO estará pronto para ser testado. A montagem na bancada Fica similar à montagem da **Figura 15**a.

Figura 15 – Foto de Bancada WEG



(a)Vista Frontal da Bancada com Exp. De Servoacionamento montado

(b)Vista lateral da bancada com placa de dados

(c) Vista da lateral que possui disjuntores e outros

Já na **Figura 15**b é possível ver a lateral da bancada que não possuem dispositivos, mas apenas a placa de dados, diferente da **Figura 15**c que podem ser vistos uma régua para entrada dos cabos de alimentação, uma tomada (220V, 250W) para ligação de cargas auxiliares, um disjuntor para proteção termomagnética e um interruptor diferencial.

Mas os componentes mais importantes desta montagem são o SERVOCONVERSOR e SERVOMOTOR

No caso do Servoconversor que se encontra no LMA foram coletados diversos dados da sua placa informativa e expostos no Quadro 6

Quadro 6 – Dados do Servoconversor do LMA.

Modelo	SCA050004T2223POP2Z
VERSÃO DE SOFTWARE	V2,73
REDE DE ALIMENTAÇÃO	220-230 VAC
CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO	3 ....4.8 A
SAÍDA DE ALIMENTAÇÃO	0 ... REDE
DATA DE FABRICAÇÃO	28/08/2009

Fonte: Elaboração Própria.

O SERVOMOTOR do LMA é apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Servomotor do LMA

(a) Servomotor com disco

(b)Eixo do Servomotor

(c)Disco retirado do eixo

Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura 9 foi apresentado servomotores, sendo que na Figura 16a foi apresentado o Servomotor do LMA com o disco acoplado, onde é possível visualizar que ele está preso à mesa através de parafusos, além disso, se visualiza dois cabos, sendo um o de força e o outro o de sinais do Resolver. Já na Figura 16b , se observa o seu eixo com a chaveta inserida e na Figura 16c o Disco que foi retirado.

Quanto ao servomotor que existe no LMA possui na sua placa de dados as variáveis e valores presentes LMA.

Quadro 7 – Dados do servomotor do LMA.

MODELO	**SWA-56-2.5-20**
I0 (A)	2,5 A
ROTAÇÃO	2000 RPM
PTC	155
RESOLVER	PRESENTE
GRAU DE PROTEÇÃO	IP 55
Torque	2.5 Nm

Fonte: Elaboração Própria.

E decorrente do modelo em WEG (2006) relacionou-se, além das informações da Placa de dados que é um servomotor de corrente alternada, carcaça 56, além disso, foi visto que o servomotor apresenta potência nominal de 0,36; massa de 4,6 Kg.

Quanto a possíveis falhas que foram levantadas nesta pesquisa bibliográfica foi visto em WEG (2006), possíveis problemas a ocorrer com o servomotor: curto-circuito entre fases; Sobrecorrente no servomotor devido à parametrização; Carga no eixo muito alta.

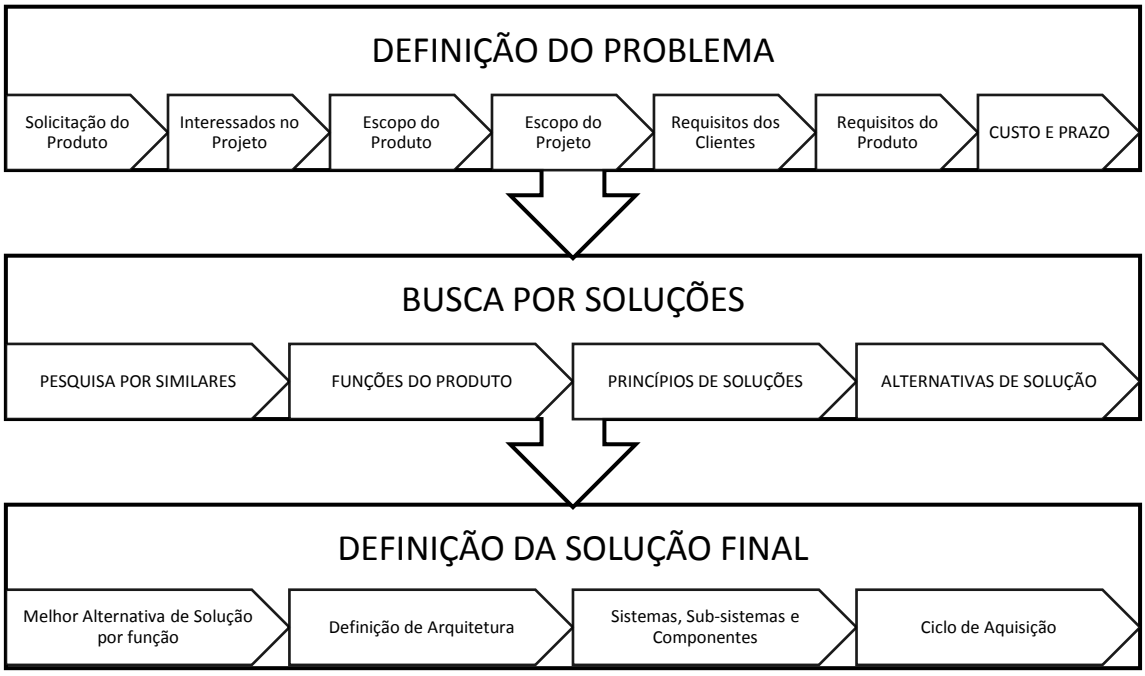
É justamente este servomotor que é a força motriz do ELEVADOR DIDÁTICO Construído no LMA, que será visto na próxima seção.

4.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO ELEVADOR DIDÁTICO

Nesta Seção será exposto de forma resumida como ocorreu à ideia de fazer o Protótipo do Elevador Didático, como ele foi desenvolvido, não foi seguido exatamente nenhum modelo como visto em Rozenfeld et al. (2006), Melo et al. (2019) e Pinto (2018), mas foram aproveitados diversos conceitos observados na Revisão da Literatura. Na

Figura 17 procurou-se expor de forma resumida como ocorreu o Desenvolvimento de Produto, sendo organizado nas etapas de Definição do Problema, Busca por Soluções e Definição da Solução Final.

Figura 17 – Desenvolvimento do Protótipo Elevador Didático LMA



Fonte: Elaboração Própria.

No Início ocorreu um o Planejamento mais detalhado do que este apresentado, porém ocorreram imprevistos burocráticos em relação ao cronograma de disponibilidade da verba e apenas estas etapas puderam ser realizadas, pois caso contrário, não existiriam recursos para prover a construção do Produto, a seguir serão expostos alguns dos componentes contidos nas fases.

Solução do Produto

Tudo começou com a Solicitação do Coordenador do Laboratório para que fosse desenvolvido, construído, instalado e colocado em operação nas práticas de Laboratório um mecanismo de baixo custo que pudesse ser acoplado do servomotor do Kit Educacional da WEG de SERVOACIONAMENTO, existindo inclusive duas ideias iniciais: Uma esteira ou um Elevador.

Interessados no Projeto

Quanto os interessados nesse Projeto podem ser citados o Coordenador que Solicitou a construção; o Técnico que o desenvolveu; os alunos que irão utilizar durante as práticas e os Professores que futuramente irão utilizar como recursos durante as aulas.

Escopo do Produto

Logo no início foi escolhida a ideia do Elevador Didático, considerando principalmente que ocuparia menos espaço dentro do laboratório e poderia facilmente ser integrado ao Kit da Weg.

Desta forma, foi definido que o Produto seria um elevador Didático de baixo custo a ser acoplado a um sistema servoacionamento vistas a otimizar o processo de ensino/aprendizado de controle de posição e velocidade em sistemas de servoacionamento no LMA/UFPB.

Escopo do Projeto

Inicialmente na construção do produto se preocupou com a sua estrutura, foi verificado os modelos coletados e que foram utilizados como referência, ou melhor, que característica os outros modelos poderiam ser incorporadas na construção do Elevador Didático do LMA.

Foi visto na Revisão da literatura diversas formas para decompor os Produtos em Sistemas, como foi o caso de Mélo, Dias e Steinbach (2011); Paula (2014) e Melo et al. (2019), mas o produto aqui exposto foi concebido considerando a necessidade de quatro sistemas, são eles: Sustentação; Cabine, Roldanas e Segurança. O desenvolvimento destes ocorreu de forma paralela, respeitando os limites previamente definidos e posteriormente as partes foram “interligadas”.

No APÊNDICE A – RESUMO DO PROJETO DO PROTÓTIPO INICIAL DO ELEVADOR DIDÁTICO – LMAse expõe o resumo do Projeto , fruto da pesquisa realizada e das etapas anteriormente descritas que faz parte do Escopo do Projeto.

Com a interligação das soluções identificadas, foi confeccionado um protótipo em escala 1:1, para que sejam verificadas possíveis falhas e melhorias, foi implantado um Grupo para realizar a técnica FMEA, buscando-se melhorias a serem aplicadas e quando existir um protótipo que ofereça condições de segurança e conformidade desejadas será colocado em teste em aulas práticas com os alunos da Graduação em Engenharia Elétrica.

A opinião deste e dos professores que utilizarem o Protótipo serão consideradas para os próximos ciclos de FMEA ou outras técnicas que visem buscar a qualidade desejada. Posteriormente será disponibilizado o Projeto para outras instituições Públicas de Ensino interessadas para beneficiar o máximo possível de alunos.

Definição dos requisitos do produto

Os requisitos do produto são as características que o produto deve atender com os valores-meta, desdobrados a partir dos requisitos dos clientes (ROSENFELD, et. al. 2006). Nossos requisitos do produto serão expostos a seguir:

- SER SEGURO: O produto deverá ter dispositivos que não ofereçam riscos de acidentes mecânicos e deverá ter uma estrutura que não cause lesões ao usuário. O produto deverá também ser composto por materiais resistentes para minimiza o risco de quebra ao ser usado;
- ADEQUADO PARA SER INSTALADO NO KIT WEG: O produto será adaptável às dimensões físicas do Kit WEG, de forma que a Bancada que já existe fornecerá parte da estabilidade que o Elevador Necessita e a força motriz do elevador seja o servomotor do kit WEG;
- BAIXO CUSTO DE PRODUÇÃO: De acordo com o requisito do cliente, o qual gostaria que o produto tivesse um preço acessível, devemos elaborar um produto que tenha um baixo custo de produção. Para isto, ele será composto, parcialmente, por materiais de fácil acesso;
- PERMITIR FÁCIL INSTALAÇÃO DE SENSORES E OUTROS ELEMENTOS USADOS EM ENSAIOS DIDÁTICOS: Durante as aulas práticas os usuários, sejam alunos, técnicos ou o professor podem precisar instalar sensores em diferentes lugares da estrutura, para verificar, por exemplo, se o posicionamento da cabine está como esperado.
- FACILIDADE GERAL DE MONTAGEM, QUE POSSA SER EXECUTADA POR APENAS UM PROFISSIONAL: Isto foi pensado principalmente devido à situação de PANDEMIA ocorrida em 2020, desta maneira, porém existem outras vantagens como menor custo com mão de obra e situação de carência de mão de obra especializada em diversas Instituições de Ensino Superior.

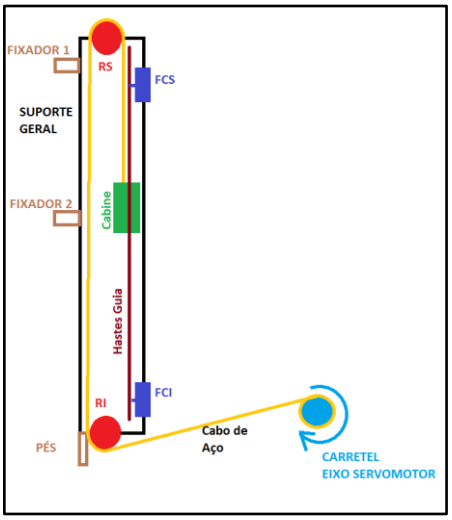
Definição da Arquitetura do Protótipo Elevador Didático - LMA

A arquitetura do produto é definida a partir da listagem dos princípios de solução para as funções do produto. É necessário definir como os elementos funcionais do produto vão ser relacionados. O produto é como o conjunto de partes que se relacionam aos princípios da solução do problema, estas partes se interagem por meio de interfaces.

O Elevador Didático foi Projetado no LMA com objetivo de desenvolver um mecanismo para ser acoplado ao servomotor do “KIT DIDÁTICO SERVOACIONAMENTO CA DA WEG”, que é controlado pelo Servoacionamento

deste mesmo Kit que é por sua vez montado numa BANCADA WEG DIDÁTICA. Acredita-se que o uso desse mecanismo irá aumentar a compreensão dos alunos sobre o controle de posição e velocidade que é possível de ser realizado com este o citado Kit, além de sua, precisão e aplicabilidade. Na Figura 18 se apresenta a vista lateral do ESQUEMA CONCEITUAL do citado produto.

Figura 18 – Esquema Conceitual do Elevador PMAS



Fonte: Elaboração Própria

Pode ser visto no canto direito inferior desta ilustração de um Carretel, que é acoplado no Eixo do Servomotor, que proporcionará a força-motor. Na medida em que este elemento rotacional no sentido horário ou anti-horário, a cabine subirá ou descerá, pois será presa ao cabo de aço também fixado no Carretel. Para que o movimento ocorra de forma esperada existe a Roldana Inferior (RI) e Roldana Superior (RS) por onde o cabo desliza e existem as Hastes Guias, sob as quais a cabine desliza. Existem ainda elementos que permitirão que ocorra uma parada na rotação do eixo-servomotor, que serão o fim de curso superior (FCS) e fim de curso inferior (FCI), que impedirão que a cabine se desloque mais do que o desejado.

O elevador ficará suspenso do chão através de pés fixados na estrutura principal nomeada de Suporte Geral e será fixado na BANCADA WEG DIDÁTICA através de fixadores.

Funções e Escolhas Definidas do Produto

A Função principal do ELEVDID-LMA é auxiliar o aluno a compreender como o servomotor e seu controle funciona, sua aplicação e sua precisão. Podemos decompor esta função em outras funções.

Os materiais necessários para a montagem do elevador e a função de cada peça estão expostos do Quadro 8 ao Quadro 12, presentes no APÊNDICE B – Quadros com materiais utilizados e suas funções e reunidos conforme os grupos que fazem parte.

As peças foram adquiridas no comércio local, sendo que uma pequena minoria foi reaproveitada de peças que já havia no Laboratório, como arruelas e madeira. As funções levantadas foram agrupadas por grupos, sendo eles: sustentação; cabine; roldanas; deslocamento da cabine e segurança.

No Quadro 8, agrupou-se a principal estrutura de sustentação, que é a eletrocalha, que por sinal proporciona a facilidade de instalação de diversos componentes, uma vez que, ela já vem perfurada, a outros elementos relacionados à maneira com que esta eletrocalha é fixa na bancada didática WEG.

Já no Quadro 9 foram agrupados os materiais relacionados à cabine e suas partes, no

Quadro 10 se expõe o grupo Deslocamento , que agrupa os elementos necessários para que a cabine e seus acessórios possam se deslocar pelas hastes.

Por sua vez, no Quadro 11 ficam exposto os Materiais utilizados e as funções do Grupo Roldanas, importantes elementos de máquinas que permitirão que o cabo de aço conectado entre eixo do servomotor e a cabine deslize.

Enfim, é apresentado o Quadro 12 onde são agrupados os elementos que permitem o funcionamento dos fins de curso superior e inferior, que permite que o sistema funcione em segurança, sem este sistema ficaria muito mais propício à ocorrência de danos, uma vez que, o servomotor poderia continuar funcionando mesmo em momentos indesejados.

4.3. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO ELEVADOR DIDÁTICO

Após a concepção do Projeto e aquisição das peças a próxima etapa foi a de Construção do Elevador, para isto foi necessário confeccionar o suporte inferior e superior das roldanas, feito isto utilizando MDF com espessura de 20 mm que foi resto de outras montagens que estavam, além disso, foram construídos os suportes dos fim-curso inferior e superior com placa de madeira 3 mm Isto foi feito pelo Técnico autor deste trabalho e utilizando as ferramentas de furadeira manual, brocas e arco de serra. No APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DA MONTAGEM DO ELEVADOR DIDÁTICO – LMAé exposto o Fluxograma de Construção do Elevador Didático, onde pode ser observado que no Laboratório foram separadas 3 áreas, sendo elas: Manufatura (Marcenaria); Montagem (realizada numa bancada e com o elevador na horizontal) e Bancada Didática (O elevador na Vertical sendo instalada a Bancada Didática WEG).

Após a realização da Construção e Instalação o Elevador ficou assim como pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 – Foto no LMA do Elevador PMAS

Fonte: Elaboração Própria.

Nesta Figura se apresentam 2 retângulos inseridos na foto, sendo o primeiro envolvendo o Elevador PMAS identificado como o retângulo 1 e o segundo envolvendo o servomotor identificado no retângulo 2 à mesa onde está instalado o servomotor estão posicionada nesta maneira apenas para facilitar a execução da foto, na prática fica em frente ao ELEVDID- LMA, sendo o disco do servomotor rente à roldana inferior.

No retângulo 1 da Figura 19é possível observar que a estrutura que suporta os elementos necessários ao funcionamento do Elevador é uma eletrocalha perfurada, que fica suspensa do piso por via de 2 bases de madeira. Na parte inferior do retângulo 1 desta Figura é possível visualizar uma caixa plástica com tampa amarela e que possui três furos, que é a cabine do elevador que pode ser mais bem observada na. Figura 20.

Figura 20 – Foto de caixa plástica que serve de Cabine

Fonte: Elaboração Própria.

Dentro da cabine estão discos metálicos - os pesos, que poderão variar conforme a necessidade do ensaio a ser feito, estes pesos são padronizados e fazem parte de outro KIT Educacional que existe no LMA, sendo de fabricante DE LORENZO (marca italiana). Estes pesos podem ser observados na Figura 21

Figura 21 – Foto de disco Padronizado 2 N em diferentes vistas

(a) Vista de cima

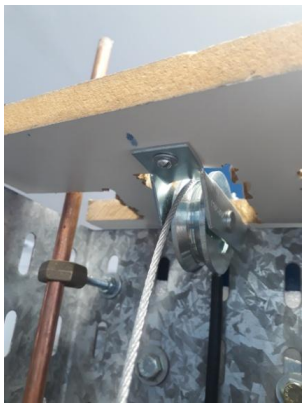
(b) Vista em perspectiva de disco

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 21a pode ser observada a vista superior um disco metálico de 2 N, que possui 50 mm de diâmetro externo e 18 mm de diâmetro interno e na Figura 19b se visualiza a vista tridimensional, sua espessura é de 14 mm. Em De Lorenzo ([1996]) é informado que cada Newton (N) equivale a 0,102 Kg. No LMA, existem atualmente pelo menos 4 discos de 2 N e 4 de 1,5 N, desta forma pode ser variada a quantidade de carga a ser transladada. Todavia este peso não será considerado parte do produto Elevador, aqui desenvolvido, uma vez, que pode ser colocados Pesos equivalentes.

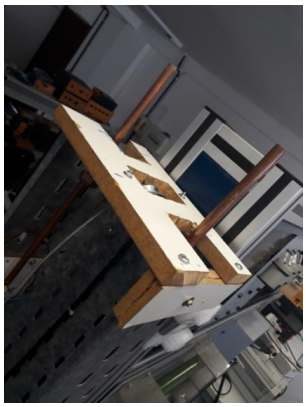
Quanto ao cabo de aço citado, se uma extremidade deste é fixa na cabine a outra se encontra fixa num carretel acoplado ao eixo de um servomotor, porém existem duas roldanas, sendo uma superior e outra inferior que permite que o deslocamento do cabo ocorra de forma satisfatória, reduzindo entre outras questões o atrito, desgaste e ruídos associados ao movimento do cabo. A roldana superior e detalhes relacionados à sua instalação podem ser visualizados na Figura 22 e a inferior na Figura 23.

Figura 22 – Fotos da roldana superior e detalhes da instalação



(a) Roldana Superior

(b) Roldana Superior e Cabine

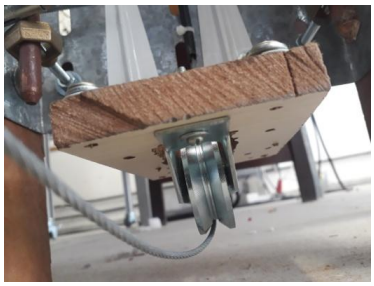


(c) Suporte da Roldana Superior

Fonte: Elaboração Própria

A Figura 22a permite que a citada roldana superior seja mais bem visualizada em relação às outras, mas é na Figura 22b que é possível perceber a interação entre movimento da cabine e roldana superior e para que esta fosse instalada foi necessária à confecção do suporte, apresentado na Figura 22c, feito no próprio LMA e pelo seu técnico.

Figura 23 – Foto da Roldana Inferior e detalhes da Instalação



(a) Roldana Inferior no suporte

(b) Fixação do suporte da Roldana inferior

(c) Cabo de aço entre roldana inferior e carretel

Fonte: Elaboração Própria

A Figura 23a permite a visualização da roldana inferior e seu suporte feito no LMA e pelo seu técnico. Este suporte é fixo a eletrocalha através de 2 cantoneiras que são parafusadas como pode ser visto na Figura 23b e na Figura 23c é possível

observar que o cabo de aço que repousa na roldana é conectado no carretel fixo no eixo do servomotor.

Existe um relatório completo com diversos outros detalhes em relação ao elevador didático que foi entregue ao Coordenador do LMA e com a intenção de não sobrecarregar este Trabalho aqui, houve a escolha de suspender a descrição.

4.4. Levantamento do Custo do Elevador Didático

Na Tabela 5 é possível observar quanto custou cada material do Elevador, isto foi feito agrupando por tipo de material as informações contidas no último Quadro, considerando que a matéria prima poderia ser adquirida individualmente e desconsiderando os eventuais desperdícios que poderiam ocorrer no processo produtivo.

Tabela 5 – Custo dos Materiais Utilizados na construção do Elevador Didático

ITEM	Alternativa de Solução	Unidade	Quant.	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
1	Eletrocalha Perfurada 200 x 100 mm de 1,87 m	Unid.	1	R$ 104,41	R$ 104,41
2	Haste de Terra de 2 m x ⅝; Material: cobre	Unid.	2	R$ 14,13	R$ 28,26
3	Terminal Faston para fio de 1,5 a 2,5 mm de diâmetro	Unid.	4	R$ 0,54	R$ 2,16
4	Micro Interruptor Fim de Curso MG-2604 20 AMP MAGIRIUS	Unid.	2	R$ 21,40	R$ 42,80
5	Conector de Aterramento Simples Haste ⅝"; Material : cobre	Unid.	8	R$ 1,52	R$ 12,16
6	CABINE: CAIXA PLÁSTICA STRAHL PARA BOTOEIRAS 147X97X70 C/3 FUROS PARA BOTOEIRAS	Unid.	1	R$ 19,20	R$ 19,20

7	Abraçadeiras de nylon 2,5 x 100 mm	Unid.	4	R$ 0,12	R$ 0,48
8	Abraçadeiras de nylon 04; 08 X 300.	Unid.	26	R$ 0,40	R$ 10,40
9	Armação 1x1 pressbow; COM 1 FURO	Unid.	4	R$ 6,50	R$ 26,00
10	Roldana para portão 2 com suporte	Unid.	2	R$ 19,61	R$ 39,22
11	Cabo de Aço Galvanizado ; 2.4 mm	metro	5	R$ 1,20	R$ 6,00
12	Clip de Cabo de aço	Unid.	2	R$ 0,90	R$ 1,80
13	Parafuso Sextavado ¼” x 2	Unid.	4	R$ 0,45	R$ 1,80
14	Porca Sextavada UNC ¼”	Unid.	8	R$ 0,17	R$ 1,36
15	Arruela Lisa ¼”	Unid.	24	R$ 0,05	R$ 1,20
16	Parafuso Máquina, cabeça redonda ⅛” X 1.½”	Unid.	10	R$ 0,09	R$ 0,90
17	porca sextavada bsw ⅛”	Unid.	10	R$ 0,06	R$ 0,60
18	arruela lisa ⅛ “	Unid.	20	R$ 0,05	R$ 1,00
19	BARROTE DE MADEIRA 30x50x190 mm	Unid.	2	R$ 3,00	R$ 6,00
20	PARAFUSO M6 SEXTAVADO;40 mm	UNID	8	R$ 0,87	R$ 6,96
21	PORCA M6	Unid.	12	R$ 0,60	R$ 7,20
22	ARRUELA LISA P/PARAFUSO M6	Unid.	20	R$ 0,05	R$ 1,00
23	Fio elétrico(CABO FLEXÍVEL) 1,50 mm diâmetro; cor 1	metro	2	R$ 0,90	R$ 1,80
24	Fio elétrico(CABO FLEXÍVEL) 1,50 mm diâmetro; cor 2	metro	2	R$ 0,90	R$ 1,80
25	Fio elétrico(CABO FLEXÍVEL) 1,50 mm diâmetro;	metro	0,5	R$ 0,90	R$ 0,45

	cor 3				
26	Peça de MDF de espessura de 15 mm, medindo 150 X 450 mm (Confecção suporte superior e inferior dos fim-curso)	M2	0,0675	R$39,074	R$2,68
27	Cantoneira 90º; 10 x 13 cm	Unid.	2	R$ 4	R$ 8
	SOMA				R$ 335,64

Fonte: Elaboração Própria

4.5. PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS

O Planejamento dos Ensaios é necessário inicialmente para que os testes que realmente interessam sejam realizados e possam no futuro ser replicados, para que se comprovem os resultados inicialmente obtidos ou ainda existam condições se avaliar se houve melhoras no desempenho do Produto, após uma ou outra ação de melhoria.

Consultando a Revisão da Literatura é possível verificar qual seria o funcionamento esperado de um elevador didático, como por exemplo, foi visto em Weiss, Gasparin e Schling (2011) e Thabet, Jameel e Hasan (2018). Porém aqui o funcionamento esperado foi adaptado, para as características do Equipamento que já existia, desta forma não há necessidade de utilizar sensores para posicionar a cabine, visto que existe o servomotor que possui Resolver e permite uma localização precisa.

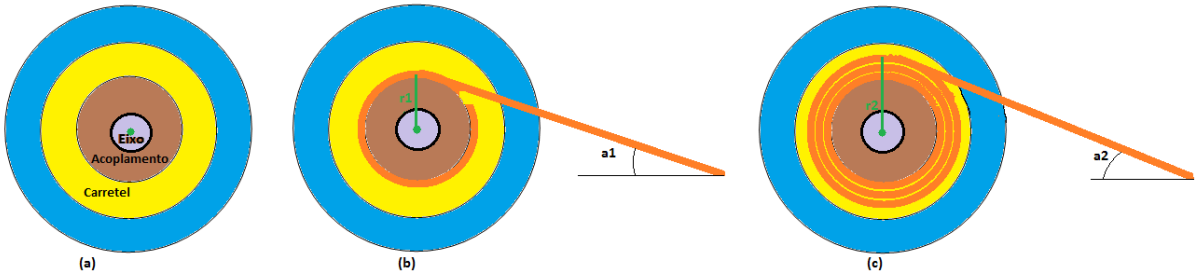
Recapitulando o contexto do Projeto original exposto anteriormente na seção Resumo do Projeto, pode ser visto que O Projeto Inicial foi feito visando atender a solicitação do Coordenador do LMA com a motivação de otimizar o processo de

ensino/aprendizado de controle de posição e velocidade em sistemas de servoacionamento no LMA/UFPB.

Desta forma, os ensaios devem abordar as variáveis da posição e velocidade. Porém se faz necessário entender previamente que este controle é relativo ao servomotor, mas uma vez que este é a força motriz do Elevador Didático, deve se avaliar que é possível observar um satisfatório controle de posição e velocidade em relação ao movimento da cabine.

No caso da Posição podemos imaginar que para cada volta do eixo do servomotor, e consequentemente volta do “carretel”, o deslocamento linear na cabine não será o mesmo, até porque a forma que o cabo de aço se aloca no citado carretel será determinante para o movimento linear da cabine. Na Figura 24 é apresentada uma ilustração de como pode ficar a acomodação do cabo de aço no carretel.

Figura 24 – Possibilidade de acomodação do cabo de aço no Carretel



Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura 24a é apresentado como está o Carretel sem o cabo de aço representado pela cor laranja, quando este é instalado é possível ver sua distribuição inicial na Figura 24 – Possibilidade de acomodação do cabo de aço no Carretel(b), sendo apresentada nesta figura a linha verde referente ao raio r1 que vai do centro do eixo até o diâmetro médio do cabo, sendo possível ver também nesta figura a representação do ângulo formado entre determinado ponto do cabo à direita e o diâmetro médio do cabo.

Na medida em que o eixo vai rotacionando e sendo acomodadas mais voltas de cabo no carretel, naturalmente o raio e ângulo citados vão aumentando, como

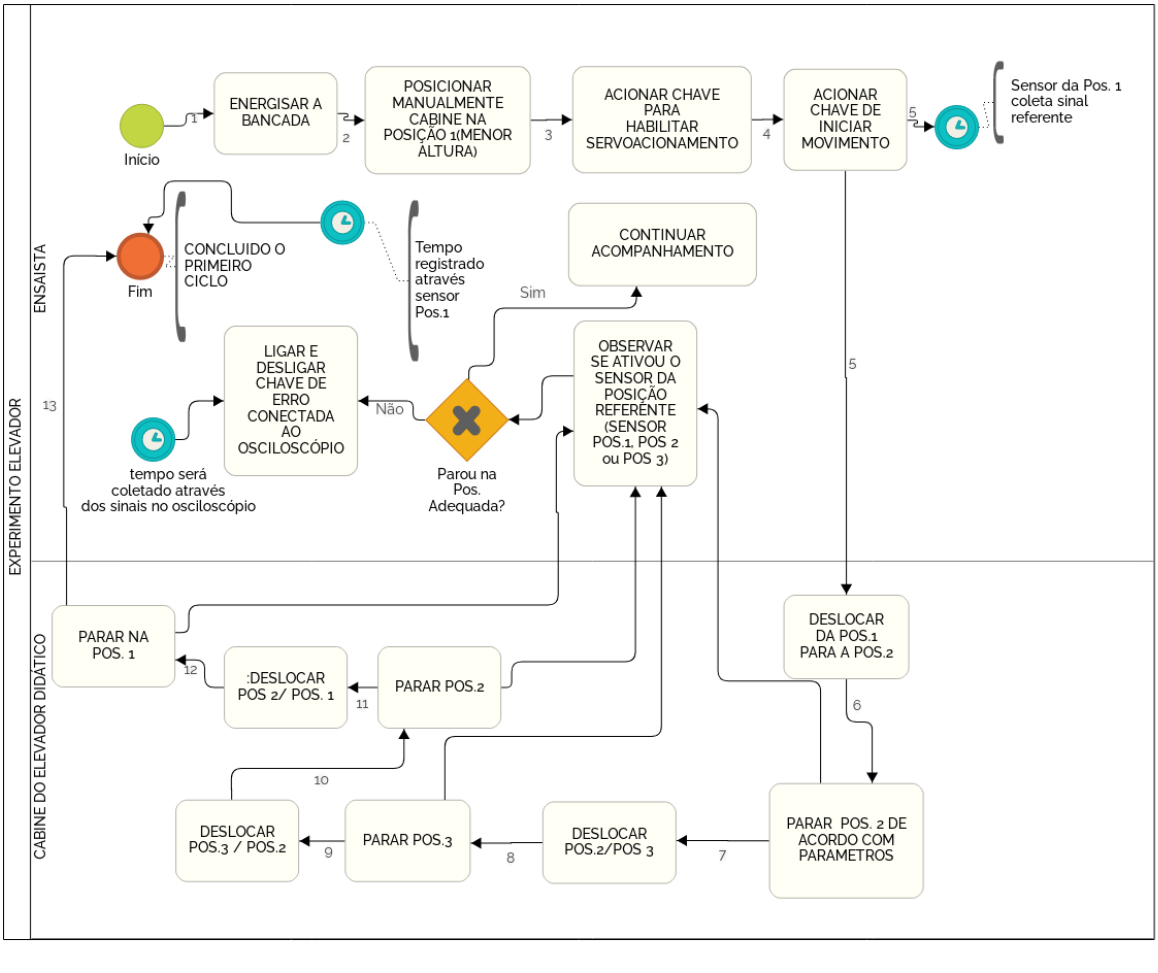
pode ser visto na Figura 24 – Possibilidade de acomodação do cabo de aço no Carretelc, onde o r2 é maior do que o r1 e o ângulo a2 maior que o ângulo a1.

Porém, na prática o que se observa é que a acomodação não ocorre exatamente desta maneira, sendo às vezes uma volta do cabo se acomodando ao lado e não sobre a outra volta, de todo modo, o que se pretende esclarecer no momento é que se o eixo do motor realiza 3 voltas, por exemplo, e faz com que a cabine se desloque verticalmente, a distância que esta cabine percorreu entre a Posição em repouso e a Posição que ficou após as 3 voltas do eixo citado, não será a mesma distância que a cabine iria percorrer no caso de mais 3 voltas do eixo do motor. Todavia o que se deseja aqui é que a Cabine sempre pare na mesma posição após o eixo do servomotor girar.

O Ensaio deverá permitir a avaliação do funcionamento do Elevador Didático, ou seja, se a posição linear da cabine de deslocamento corresponde à quantidade de giro(s) do motor; por exemplo, o eixo do motor ao girar 3 vezes deixa a cabine sempre na mesma posição linear (em relação ao solo); poderá avaliar também se o tempo de parada do elevador corresponde ao tempo de parada parametrizado no servoconversor e está sendo igual no repouso em frente ao sensor da Posição 2 e no da 3.

Desta forma, a partir das informações levantadas sobre Funcionamento de Elevadores Didáticos, KIT didático SERVOACIONAMENTO WEG e FMEA, foi feito o Planejamento do Ensaio que deverá seguir as etapas descritas no Fluxograma de Processo. de UM CICLO, exposto na Figura 25 – Fluxograma do ensaio a ser realizado no Elevador Didático

Figura 25 – Fluxograma do ensaio a ser realizado no Elevador Didático



Fonte: Elaboração Própria.

Neste Fluxograma existem 2 raias, sendo a de cima referente ao ensaísta e a debaixo referente à Cabine do Elevador Didático. A partir do momento em que o primeiro aciona a chave de iniciar o movimento o movimento da cabine ocorre de forma automática, resta ao ensaísta acompanhar o movimento da cabine, o acionamento ou não dos sensores e registrar através de botão do erro os momentos de falha. A seguir serão esclarecidos alguns pontos referentes ao ensaio.

- CICLO COMPLETO: A cabine do elevador é posicionada com o atuador dela (pequena arruela metálica) rente ao sensor da Posição 1(mais abaixo); O Servoacionamento é habilitado através de chave 1s1 conectado ao servoacionamento e o ciclo 1 acionado através da chave 1s2, dessa maneira o eixo do servomotor irá girar 3 vezes no sentido que faça a cabine girar e parar por um tempo pré-programado, de forma que acione o sensor da Posição 2(posição intermediária) durante o tempo que estiver parado a

cabine, depois o eixo do servomotor irá girar novamente 3 vezes no sentido que faça a cabine subir e parar com seu atuador rente ao sensor da Posição 3(mais alto); após o tempo previsto, o eixo do servomotor irá girar no sentido contrário do que girou até agora, fazendo a cabine descer até a posição do Sensor 2 onde irá parar por tempo programado e finalmente se dirigirá a posição do sensor 1, concluindo o ciclo;

- Sensores: Não é este dispositivo que faz a cabine parar, pois isto ocorre devido à parametrização realizada no servoacionamento que é possibilitada devido à alta precisão do Resolver solidário ao eixo do servomotor, portanto se tirarmos os sensores a posição de parada será a mesma. A ideia de utilizar os sensores se justifica tão somente para captar um sinal que irá gerar uma forma de onda que possibilitará coletar os tempos envolvidos nos ensaios;
- Erro: No momento de parada ou repouso de cabine o sensor que deveria estar rente ao acionador da cabine tem que estar acionado, caso contrário isto será o erro.
- Manutenção: O ciclo completo se refere a 4 deslocamentos e 2 tempos de pausa, seria bastante inconveniente e inviável tecnicamente realizar a manutenção durante o ciclo, desta forma, convencionou-se que a Manutenção iria ocorrer após o final de cada ciclo, este serviço significa fazer os ajustes necessários para que os sensores acionem no momento que a cabine parar, além disso, foi determinado que só houvesse manutenção após 3 erros seguidos;

4.6. Realização de ensaios e LEVANTAMENTO De Medidas de CONFIABILIDADE (ANTES DAS MELHORIAS)

Após parametrização do servoacionamento para que ele executasse o ciclo completo já citado e preparação do elevador didático, que incluiu ajustes em sensores, posicionamentos do eixo do motor e na cabine foram realizados 3 ensaios que serão relatados a seguir, a intensão maior desses ensaios é avaliar como o Protótipo está funcionando em diferentes velocidades para o servomotor e realizar levantamentos de medidas de confiabilidade que sirvam para realizar o FMEA de uma forma embasada e de se Avaliar a atual situação de confiabilidade do Equipamento, para em caso de futuras melhorias, novos ensaios puderem indicar a mensuração dessa possível melhoria.

A realização de ensaios ocorreu em dias diferentes e a única variável que mudou de um ensaio para outro foi à velocidade do motor, que inicialmente foi de 12 rotações por minutos (RPM), posteriormente foi a 3 vezes mais que esta, ou seja, de 36 RPM e por último foram acompanhados os ciclos a 7 vezes o valor original, ou seja, a 84 RPM.

Neste ensaio a partir dos sensores instalados, da chave de erro, das observações e das leituras do osciloscópio existiu no início o interesse em coletar as seguintes variáveis: Tempo de Deslocamento Pos. 1 /Pos.2 (s); Tempo de Parada na Pos.2 (s); Tempo de Deslocamento Pos.2 /Pos.3(s); Tempo de Parada na Pos.3(s); Deslocamento Pos.3/Pos.2 (s); Parada na Pos.2 (s); Deslocamento Pos.2 /Pos.1 (s); Tempo até a primeira falha; Tempo entre falhas e o Tempo total do ciclo.

Para isto foram utilizados equipamentos como osciloscópio de 4 canais, fonte de alimentação e módulo (amarelo) com chave liga desliga nomeada como chave de erro que podem ser vistos sobre uma mesa na Figura 26 e que ficou ao lado do Elevador Didático – LMA.

Figura 26 – Equipamentos de Apoio ao Ensaio

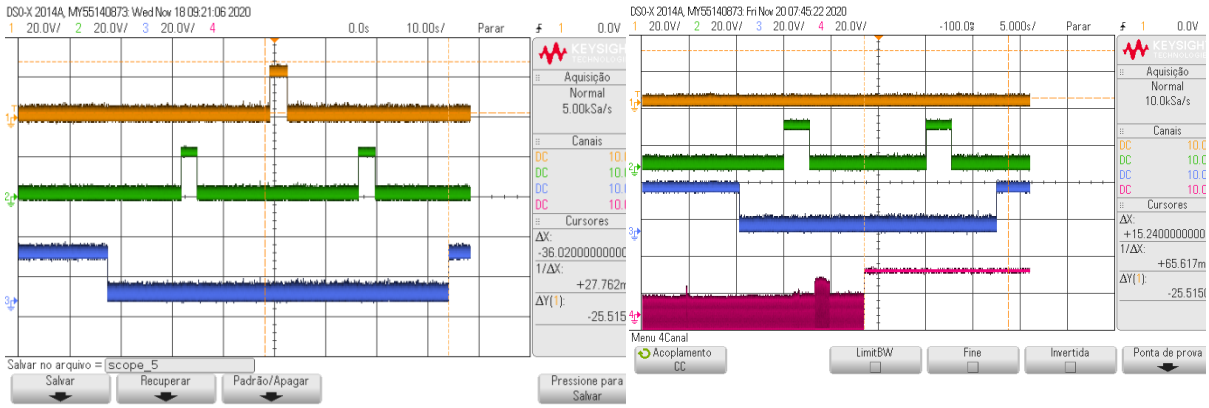
Fonte: Elaboração Própria.

Foi a partir do osciloscópio que os tempos desejados foram coletados, na é possível visualizar duas figuras, sendo que a Figura 27a se visualiza os sinais de um ciclo completo que não ocorreu falha.

Nesta tela se apresenta três sinais, o sinal mais abaixo é referente ao sensor da Posição 1(mais baixo), o do meio é referente ao da Posição 2 (intermediário) e o mais acima é referente ao da Posição 3 (mais alto).

Considerando que existem eixos de leituras que possibilitam o registro das mais diversas variáveis, incluindo a de tempo é possível registrar os dados do momento em que a cabine saiu da posição 1 quando o sinal azul que estava num nível alto (24 Vodca) desce indo para um nível baixo (0 Vdc), da mesma forma que é possível coletar os dados de tempo de chegada e saída dos sensores das outras posições, lembrando que só estará tudo conforme o desejado se ele ficar parado o tempo predeterminado, um tempo maior do que 2,5 segundos(s).

Figura 27 – Sinais captados do osciloscópio durante os ensaios



(a)Sinal de ciclo sem erro (b)Sinal de ciclo com erro

Fonte: Elaboração Própria.

Já na Figura 27b, se registrou uma situação de erro, pois o sinal mais acima (o laranja) que deveria ser acionado no momento em que a cabine fosse parar na posição 3 não foi acionado justamente porque a cabine não parou no lugar esperado, nesse momento a chave de erro foi acionada pelo ensaísta e o sinal mais abaixo indica o momento exato que o erro aconteceu.

A fim de estabelecer definições relacionadas às medidas de confiabilidade que serão aqui expostas, os ensaios descritos tem o propósito de durante a realização do ciclo completo toda vez que houver o tempo de parada, conforme

parametrização realizada o sensor referente à posição que a cabine deveria estar precisa estar acionado (Led aceso), sendo a unidade de tempo utilizada a de segundos.

4.6.1. ENSAIO 1 – SERVOMOTOR A 12 RPM

Neste ensaio foram acompanhados 30 ciclos completos, Os dados referentes a este ensaio podem ser vistos no APÊNDICE D – DADOS DO ENSAIO 1 – ELEV.DID. LMA, onde pode ser visto que não ocorreu nenhum erro. Cada ciclo demorou em média, 66,73 s.

- Quantidade máxima de Ciclos seguidos sem apresentar erro: 30 ciclos
- Tempo médio até a primeira falha: Não pode ser obtido, pois não houve falha;
- Soma dos Tempos de realização dos ciclos,: 2002,04 s (33,367 minutos).

Foi possível presenciar que o Sistema funcionou como esperado com o servomotor funcionando a 12 RPM, que poderá ser a velocidade escolhido quando se desejar apresentar para os alunos que é possível funcionar durante vários ciclos sem a ocorrência de erros.

4.6.2. ENSAIO 2 – SERVOMOTOR A 36 RPM

Neste ensaio foram acompanhados 50 ciclos completos, Os dados referentes a este ensaio podem ser vistos no APÊNDICE E – DADOS DO ENSAIO 2 – ELEV.DID. LMA, onde se constata que no total ocorram 19 erros, sendo que no ciclo 26 ocorreram dois erros e no ciclo 27 ocorreram 3, no restante dos ciclos só foi 1 por ciclo.

- Quantidade máxima de Ciclos seguidos sem apresentar falha: 11 ciclos
- Tempo médio até a primeira falha (MTTF): 11,03 s;

- Quantidade de manutenções : 6 (detalhamento no APÊNDICE E)
- Tempo total de manutenção : 2256,89 s (37,61 minutos)
- Tempo médio para reparo (MTTR): 376,15 s (6,27 minutos/reparo)
- Soma dos Tempos de realização dos ciclos,: 1363,90 s (22,732 minutos);
- Quantidade de Erros por ciclo: 0,38 erros /ciclo;
- Quantidade de Erros por segundo: 0,014 erros/segundo
- Tempo entre falhas (MTBF): 63,52 s
- Disponibilidade (A)

$$A = \frac{63{,}52}{63{,}52 + 376{,}15} = 0{,}1448 \cong 0{,}15$$

A disponibilidade de 0,15 ou 15 % está baixa, este fator indica que na medida em que o tempo de funcionamento do Protótipo tende ao infinito em apenas 15 % deste tempo existe a probabilidade do equipamento se encontrar em condições operacionais.

A causa desta baixa disponibilidade se deve ao fato do Protótipo ainda estar em fase de testes e o tempo médio para reparo é ainda muito alto, praticamente seis vezes maior do que o tempo entre falhas.

Este tempo de reparo é alto porque o cabo de aço está apresentando falhas intermitentes na forma que ele se alocar no carretel e interfere no movimento da cabine, além disso, aparentemente a polia inferior vibra mais do que deveria, enfim, o Protótipo no momento destes ensaios ainda não passou pela fase de melhoramentos.

4.6.3. ENSAIO 3 – SERVOMOTOR A 84 RPM

Neste ensaio foram acompanhados 130 ciclos completos, Os dados referentes a este ensaio podem ser vistos no APÊNDICE F – DADOS DO ENSAIO 3 – ELEV. DID. LMA, onde se constata que no total ocorram 23 erros.

- Quantidade máxima de Ciclos seguidos sem apresentar falha: 29ciclos
- Tempo médio até a primeira falha (MTTF): 10,33 s
- Quantidade de manutenções: 7
- Tempo total de manutenção: 1564,06 (26,07 minutos)
- Tempo médio para reparo (MTTR): 223,44 s(3,72 minutos)
- Soma dos Tempos de realização dos ciclos: 2079,12 s (34,65minutos);
- Quantidade de Erros por ciclo: 0,18 erros /ciclo;
- Quantidade de Erros por segundo: 0,011 erros/segundo
- Tempo entre falhas (MTBF): 74,08s
- Disponibilidade (A)

$$A = \frac{74{,}08}{74{,}08 + 223{,}44} = 0{,}24899 \cong 0{,}25$$

Este valor calculado para o ensaio 3 indica que o Protótipo do elevador didático apresenta disponibilidade de operação em 25 % do tempo, o que é baixo, uma vez que desejasse uma disponibilidade de ao menos 70% no caso em questão, considerando que é um Protótipo em fase de testes e que ainda não passou pela fase de melhorias.

Atribuísse a este valor baixo da Disponibilidade ao valor alto do MTTR que ocorre pela dificuldade de realizar manutenção devido à forma irregular que o cabo de aço está se alocando no carretel e pelo fato de não ter sido realizado ainda as melhorias. Todavia o valor da Disponibilidade para o ensaio 3 aumentou 66,7 % em relação ao ensaio 2, o que é bastante positivo.

Analisando através do software Proconf 2000 este ensaio a partir dos dados de Tempo até a primeira falha, expostos na segunda coluna do APÊNDICE F – DADOS DO ENSAIO 3 – ELEV. DID. LMA, foi possível fazer o ajuste do modelo distribuição.

Desta forma se procura a especificação de uma distribuição de probabilidade adequada aos dados. Para realizar este ajuste, após alimentar o Proconf com os dados citados, foi testado se os modelos do tipo exponencial, Weibul, Gamma,

Lognormal e Normal seriam rejeitados ou não e verificado os que possuem maior nível de significância no Teste de aderência No caso do ensaio 3 foi escolhido o nível de intervalo de confiança de 95% e visto no teste de aderência que o Proconf disponibiliza que a hipótese de que a população segue o modelo exponencial ou Lognormal foram rejeitadas, diferentemente do caso dos modelos Weibul, Gamma e Normal, sendo apresentado na Tabela 6 os valores do teste qui-quadrado (x2) e do teste analítico de Kolmogorov-Smirnof (k-s).

Tabela 6 – Modelos e níveis de significância

	Níveis de significância	
Modelos	x^2	k-s
Exponencial	0,0002	0,0001
Lognormal	0,0913	0,0308
Webul	0,2091	0,079
Gamma	0,1352	0,0838
Normal	0,214	0,1483

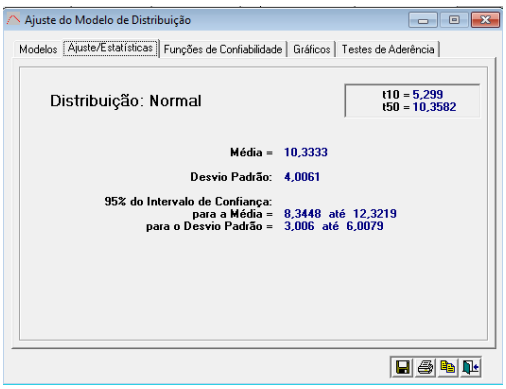
Fonte: Elaboração Própria.

Quando o valor-p dos testes for menor do que o nível de significância escolhido (normalmente 5% ou 10%), conclui-se que os dados não seguem a distribuição especificada.

Neste caso foi escolhido o nível de significância de 5 % ou 0,05 e na Tabela 6 pode ser visto que os Modelos Webul, Gamma e Normal apresentaram valores maior que 0,05, diferentemente dos valores dos modelos Exponencial e Lognormal que tiveram os níveis de significância nos dois testes ou em um dos dois testes com valor menor que o desejado e desta forma foi informado no software que a hipótese de que a população seguia aquele modelo foi rejeitada.

Assim , considerando que os dois níveis de significância do modelo Normal apresentaram melhores resultados no teste de aderência, este foi o escolhido. O ajuste de estatística para o modelo Normal pode ser visto na Figura 28, onde se observa que a Média dos Tempos até a primeira falha (MTTF) é 10,33 s o que confirma o valor que já havia sido divulgado antes.

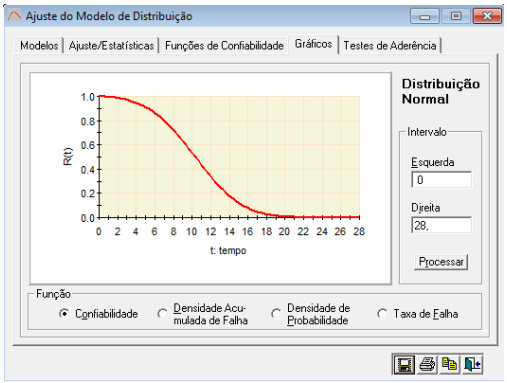
Figura 28 – Teste de aderência do modelo normal – Ensaio 3



Fonte: Elaboração Própria (Software ProConf2000).

Já na Figura 29 se apresenta o Gráfico da função de Confiabilidade R(t) referente ao ensaio 3. Ela expressa o comportamento da confiabilidade no tempo indicando a probabilidade de uma observação não falhar até certo tempo t, desta maneira pode ser visto que esta probabilidade de ausência de falhas no intervalo entre 0 e 16 s (tempo médio para execução de um ciclo completo) tem um valor de R(t) aproximadamente de 0,08 ou de 8%%, o que se apresenta como um valor inferior ao desejado (99 %).

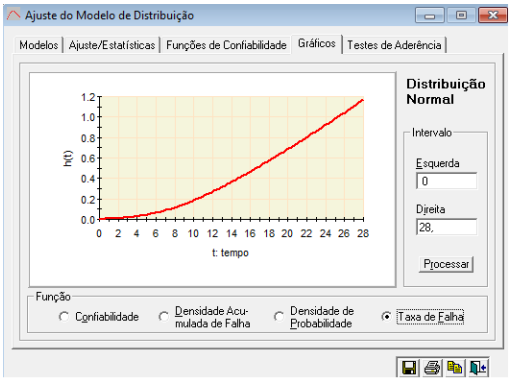
Figura 29 – Confiabilidade - Ensaio 3



Fonte: Elaboração Própria (Software ProConf2000).

Quanto a Taxa de Falha h(t), significa a probabilidade de a falha ocorrer em determinado intervalo de tempo. Na Figura 30pode ser visto que a partir de aproximadamente 25,2 s a taxa de falha será de aproximadamente uma falha por segundo.

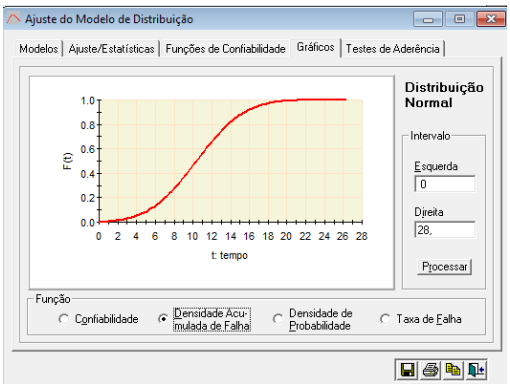
Figura 30 – Gráfico de Taxa de risco para o Ensaio 3



Fonte: Elaboração Própria (Software ProConf2000).

Já na Figura 31 se apresenta o print do Gráfico de Densidade Acumulada de Falha – F(t), que representa a probabilidade da falha ocorrer em um intervalo de tempo pretendido, desta forma é possível visualizar no gráfico que próximo a 20 segundos já existe a probabilidade de 100 % de haver falha.

Figura 31 – Densidade Acumulada de Falha



Fonte: Elaboração Própria (Software ProConf2000).

Em nível de comparação entre os ensaios realizados são expostos na Tabela 7 os resultados relacionados a medidas e indicadores de confiabilidade.

Tabela 7 – Comparação de Resultados dos ensaios

ENSAIO	VELOCIDADE MOTOR (RPM)	CICLOS	Duração média de um ciclo (s)	Soma dos ciclos (s)	Quant. Falhas	Quant. Manut	MTTF (s)	MTTR (s)	MTBF(s)	A
1	12	30	66,73	2002,08	0	0	Indisponível			
2	36	50	27,28	1363,9	19	6	11,03	376,15	63,52	0,14
3*	84	50 primeiros	15,84	792,1	13	4	10,58	236,65	33,71	0,12
3	84	130	15,99	2079,12	23	7	10,33	223,44	74,08	0,25

Fonte: Elaboração Própria (Software ProConf2000).

É possível afirmar a partir dos dados desta Tabela, que foi visto uma forma de se apresentar o funcionamento do elevador sem apresentar erros conforme pode ser observado no ensaio 1, onde o eixo do servomotor girou por 30 ciclos a 12 RPM, considerando os demais parâmetros listados no.

Por outro lado, foram observados diversos erros nos demais ensaios, observando-se na Tabela 7que o ensaio que apontou maior disponibilidade foi o 3, onde foram observados 130 ciclos, com o eixo do servomotor a 84 RPM. Já quanto ao MTTF e MTTR, foi observado que os maiores valores ocorreram no ensaio 2.

Neste ponto do trabalho se levantou medidas e indicadores de Confiabilidade em três tipos de ensaios diferentes, deste modo, quando no futuro ocorrerem às melhorias que deverão ser implantadas a partir do FMEA que será realizado, poderá se avaliar se realmente houve melhora e de quanto foram estas se refazendo estes ensaios.

4.6.4. Modos de falha observados durante os Ensaios

Durante os Ensaios foram observados os modos de falha listados abaixo que serão úteis para a avaliação do FMEA:

- A cabine por vezes não se posiciona de forma linear no sentido vertical de maneira desejada;
- A acomodação do cabo de aço no carretel, na medida em que o eixo do servomotor rotacional é imprevisível;

- A Existência de arestas cortantes na Eletrocalha;
- A polia inferior vibra e interfere no rendimento do elemento de transmissão mecânica;

4.7. Análise de modo e efeito de falhas (FMEA)

Para a realização do FMEA formou-se um grupo de Trabalho composto pelos participantes já citados nos Sujeitos da Pesquisa, e seguindo a metodologia já descrita, assim, serão expostos aqui os resultados obtidos quanto à aplicação do FMEA no Elevador Didático.

Os resultados desta seção foram obtidos a partir do que foi visto nos experimentos realizados, da observação das falhas ocorridas nestes e do conhecimento prévio de cada participante do grupo de trabalho, da sua experiência profissional e acadêmica.

4.7.1. Identificar modos de falha conhecidos e potenciais;

Nesta etapa foram identificados os modos de falha conhecidos e potenciais, foi analisado cada item que faz parte do Protótipo e identificados à maneira com que um item pode falhar em atender aos requisitos do projeto e os modos de falha cuja probabilidade de ocorrência não for praticamente foram listados. Estes modos falhas levantados podem ser vistos na 5º coluna do APÊNDICE H – FICHA DE FMEA – PARTE I

4.7.2. Identificar efeitos individualmente do modo de falha e a sua respectiva severidade;

Nesta etapa do FMEA foram listados os efeitos individualmente dos modos de falhado Protótipo do Elevador Didático identificados da etapa anterior àqueles defeitos, oriundos dos modos de falha, de acordo com que seriam percebidos pelo

cliente (que pode ser interno ou externo) no Elevador Didático – LMA, os resultados desta etapa podem ser vistos na 6º coluna do.

E a partir dos dados levantados até agora a Severidade (S) foi avaliada. Este índice indica desde se uma Falha afeta minimamente o desempenho do sistema até a situação compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais, conforme já foi visto na Tabela 1. Este trabalho considerou os níveis de classificação desta tabela e os resultados podem ser observados na 4º coluna do APÊNDICE I – FICHA DE FMEA – PARTE II

4.7.3. Identificar as causas que podem ocorrer para cada modo de falha e a sua probabilidade de ocorrência;

Nesta etapa exista a reflexão sobre o que causou determinado modo de falha e os resultados podem ser visualizados na 7º coluna do APÊNDICE H – FICHA DE FMEA – PARTE I

Já a Probabilidade de Ocorrência (O), considerou as observações levantadas até o momento e se apropriou da forma de julgamento visto na Tabela 2 – Sugestão de escala para avaliação da ocorrência da causa de falha em projetos e os resultados desta avaliação por parte do Grupo de Trabalho podem ser vistos na 5º Coluna do APÊNDICE I – FICHA DE FMEA – PARTE II
..... Nesta etapa acima foi possível utilizar dados levantados na realização dos experimentos, como a taxa de falha no deslocamento da cabine que foi visualizado nos estudos de conformidade realizado e registrado em seções anteriores.

Um exemplo que pode ser dados é o fato de haver 19 erros de posicionamento da cabine durante os 130 ciclos de ensaios realizados no Ensaio 3, desta forma proporcionalmente ocorreriam 146 falhas em 1000 ciclos, desta forma, e considerando os resultados de confiabilidade que foram levantados pode ser avaliado que a Ocorrência de Falha deste modo de falha mereceu a o nível 10 na sua escala, ou seja, Falhas quase inevitáveis,

4.7.4. Identificar os meios de detectar o modo de falha e sua probabilidade de detecção;

Nesta etapa, a equipe listou as atividades de validação, verificação ou prevenção planejadas, foram utilizadas duas colunas para o registro dos controles atuais, sendo uma para indicar eventuais controles de prevenção, que correspondem àqueles que podem efetivamente reduzir a ocorrência da causa ou modo de falha e a outra coluna foi usada para indicar controles de detecção, que não afetam a probabilidade de ocorrência, mas detecta o problema antes de o item ser liberado para produção. Estes resultados podem ser vistos na 8º e 9º coluna do APÊNDICE H – FICHA DE FMEA – PARTE I

Já a Detecção (D) refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente ou subsistema ser liberado para produção, para avaliar este índice foram considerados os níveis da Tabela 3 e os resultados deste julgamento pode ser visto na 6º coluna do APÊNDICE I – FICHA DE FMEA – PARTE II.

4.7.5. Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e determinar medidas para sua redução. Ou eliminação.

O Risco foi calculado a partir do produto da à Severidade (S), Probabilidade de Ocorrência (O) e da Detecção (D), podendo o resultado deste ser visto na 7º coluna da APÊNDICE I – FICHA DE FMEA – PARTE II Quando os Riscos dos modos de falha foram classificados de forma decrescente ficou conforme a Tabela 8, nela pode ser visto que o modo de falha de maior Risco é o item 1, ou seja, a caixa plástica strahl para botoeiras, que é utilizada como a própria cabine do elevador didático e o modo de falha é não se posicionar de forma linear no sentido vertical de maneira desejada, que teria o efeito de ficar numa posição que não era a esperada e a precisão do servomotor não pode ser apresentada aos alunos, o que comprometeria profundamente a prática didática.

Tabela 8 – Modos de Falha classificados pelo Risco

ORDEM DE PRIORIDADE	ÍTEM DA FICHA FMEA	**S**	**O**	**D**	**Risco (R)**
1	1	8	10	5	400
2	2	8	8	5	320
3	17	9	4	7	252
4	6	7	3	8	168
5	9	7	3	8	168
6	10	8	5	3	120
7	19	9	2	6	108
8	13	3	7	5	105
9	14	3	7	5	105
10	18	9	2	5	90
11	5	7	4	3	84
12	12	6	6	2	72
13	15	2	5	7	70
14	16	2	5	7	70
15	7	7	1	9	63
16	8	6	8	1	48
17	11	7	2	3	42
18	3	8	1	5	40
19	4	8	1	4	32

Fonte: Elaboração Própria

Assim foi possível obter uma lista de prioridades a serem resolvidas em relação aos modos de falha identificados, de tal maneira que a maior prioridade a ser dada é ao item 1, seguido pelo item 2 e pelo item 17, até chegar ao último item, que é o 4.

Para os casos que o Risco possui o mesmo valor, deve ser dada a prioridade que a severidade é maior, seguida da situação em que a probabilidade de não detecção é maior, no entanto no caso em questão os valores de severidade empataram com os valores de detecção nos casos de igualdade no valor do Risco.

4.6. Proposição de melhorias no elevador didático

Após a realização dos Ensaios, levantamento de medidas de confiabilidade e a realização do FMEA foram possíveis fazer a Proposição de melhorias para o elevador didático aqui exposto.

No APÊNDICE I – FICHA DE FMEA – PARTE II, foram listadas ao menos 19 ações recomendadas a partir da visão do grupo de Trabalho e do acompanhamento dos ensaios realizados, além disso, a partir do Risco mensurado foi possível a sugestão que prioridades deveriam ser seguidas.

É justamente o item ‘ 1 deste Apêndice que merecerá maior atenção, pois oferece o maior Risco que é Não se posicionar de forma linear no sentido vertical de maneira desejada, o que geraria o efeito de A cabine ficar numa posição que não era a esperada e a precisão do servomotor não pode ser apresentada aos alunos, como a causa disto foram identificadas duas causas.

A primeira foi O cabo de aço, de forma esporádica não se acomodar como esperado no carretel improvisado. e a segunda foi A polia inferior vibrar e interferir no rendimento do elemento de transmissão mecânica,

Para a primeira causa a equipe do FMEA recomendou a substituição do cabo de aço por Corda Trançada PP 2 mm de Polipropileno (Ruptura 68 Kgf.) e Avaliar e para a segunda foi recomendado inicialmente º Furar Eletrocalha para poder fixar melhor as cantoneiras, e, além disso, Retirar a Polia Inferior, de maneira que do Carretel ou Polia fixa no servomotor o elemento de transmissão mecânica siga diretamente para a polia inferior e posteriormente para a cabine e Avaliar.

É justamente o Grupo Cabine que é responsável por praticamente 70% das ações recomendadas, que podem ser totalmente vistas nos Erro! Fonte de referência não encontrada.e que aqui ainda ressaltasse: Verificar se existe condição de Parametrizar o inversor de forma que se for colocado mais carga do que o desejado na cabine o sistema detecte através da relação Nm/ A e indique uma parada de emergência ou falha ;Comprar Freio adequado para o sistema ou Projetar um , como também , utilizar varões de aço carbono e guias de aço com buchas de bronze grafitadas, garantindo assim uma maior vida útil e eliminando folgas durante o movimento;

Enfim, não é só para este grupo que foram feitas as recomendações que podem ser vistas no Apêndice citado e que também apresenta sugestões de melhorias para os GRUPOS Deslocamento, Sustentação e segurança, as demais recomendações estão lá especificadas.

5. CONCLUSÃO

Verificando os resultados obtidos, o trabalho realizado foi satisfatório na medida em que foram levantados os recursos necessários para se avaliar o Protótipo do Elevador Didático Desenvolvido e Construído no Laboratório de Máquinas e Acionamentos aqui descrito.

Estes recursos foram à descrição do elevador didático e seu funcionamento, o planejamento e realização de ensaios; a Identificação de falhas durante estes ensaios e posteriormente a realização do FMEA.

Durante os ensaios foi avaliado que se obteve uma opção de configuração para realizar uma apresentação para os alunos de forma provavelmente sem erros, conforme descrito no ensaio 1, onde o eixo do servomotor gira a 12 RPM durante 30 ciclos completos, mas também foi possível observar que a partir do momento em que a rotação do servomotor aumenta a condição de ausência de falhas desaparece.

Foi o que ocorreu no ensaio 2 com o eixo do servomotor que controla o movimento vertical da cabine do elevador girando a 36 RPM e no ensaio 3 a 84 RPM. Dentre estes o que conseguiu maior disponibilidade foi o 3 que foi de 25 %, valor considerado baixo e gerado pelo MTTR três vezes maior do que o MTBF que ainda se faz necessário para manter o Elevador em funcionamento esperado decorrente principalmente da forma irregular que o cabo de aço está se alocando no carretel.

Ainda sobre o ensaio 3, a partir dos dados coletados da variável “tempo até a primeira falha”, foi possível através do Software Proconf identificar que a distribuição destas que não pode ser rejeitado a hipótese de que a distribuição se enquadraria na distribuição normal.

Sendo a partir disto verificados gráficos de Confiabilidade, Taxa de falha e Densidade Acumulada de falha, onde pode ser visto, por exemplo, que a partir de aproximadamente 19 segundos a probabilidade de não haver falhas já é nula.

Porém até mesmo as falhas observadas foram importantes para executar a ferramenta do FMEA, onde um grupo de trabalho identificou os modos de falha que

foram conhecidos nos ensaios e os potenciais; os efeitos destes e sua respectiva severidade; as causas e sua probabilidade de ocorrência; os meios de detectar e seu nível de detecção e finalmente avaliou-se o potencial de risco e determinadas medidas para sua redução ou eliminação, gerando uma lista com a ordem de priorização do que deve ser testado.

O item de maior prioridade nesta lista teve seu Risco classificado em 400, sendo o fato da cabine esporadicamente não se posicionar de forma linear no sentido vertical de maneira desejada, o que gera o efeito da cabine ficar numa posição que não era a esperada e a precisão do servomotor não pode ser apresentada aos alunos.

A partir do FMEA, foram listadas 19 ações de melhorias recomendadas a partir da visão do grupo de Trabalho e do acompanhamento dos ensaios realizados e a partir do Risco estimado.

Enfim, tomando como base os resultados encontrados o trabalho alcançou seus objetivos na medida em que foi possível propor melhorias a partir da visão do grupo de trabalho FMEA para o Protótipo do Elevador Didático aqui apresentado, visando diminuir a probabilidade de ocorrência de falhas que poderão ocorrer no produto desenvolvido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELEVADORES. SC. Como funciona um elevador. Disponível em: http://elevadores-sc.blogspot.com/. Acesso em: 03 out. 2020.

FERNANDES, José Márcio Ramos; REBELATO, Marcelo Giroto. Proposta de um Método para Integração entre QFD e FMEA. Gestão & Produção, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 245-258, maio 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/gp/v13n2/31171.pdf. Acesso em: 06 out. 2020.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier: Abepro, 2011.

KOMNINAKIS, Denis; PIRATELLI, Cláudio Luis; ACHCAR, Jorge Alberto. Análise de confiabilidade para formulação de estratégia de manutenção de equipamentos em uma empresa da indústria alimentícia. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 560-592, 15 jun. 2018. Associacao Brasileira de Engenharia de Producao - ABEPRO. http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2871.

LOBO, Renato Nogueirol. Gestão da Qualidade. 2. Ed. São Paulo: Érica, 2020.

MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 1 v.

MATTOS, João Roberto Loureiro de; GUIMARÃES, Leonam dos Santos. Gestão da Tecnologia e Inovação: uma abordagem prática. São Paulo: Saraiva, 2005.

MELO, Igor Eduardo Santos de et al. EDUCATION AND TECHNOLOGY: teaching automation through the development of a teaching prototype. Brazilian Journal Of Development. Curitiba, p. 30874-30893. dez. 2019. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5413/4944. Acesso em: 15 ago. 2020

MELO JUNIOR, Gilberto de et al. Analysis of Engineering education in Brazil:: a case study in the midwest region. Research, Society And Development,, Itajubá, v. 9, n. 11, p. 1-13, 2 nov. 2020. Disponível em: https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9517/8485. Acesso em: 08 nov. 2020.

MÉLO, Francisco Édson Nogueira de; DIAS, Roberto Alexandre; STEINBACH, Reginaldo. FPGA PARA TODOS: um projeto para a disseminação da tecnologia de lógica programável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 39., 2011, Blumenau. Proceedings [...] . Blumenau: Cobenge, 2011. p. 1-12.

MZOUGUI, Ilyas; FELSOUFI, Zoubir El. Proposition of a modified FMEA to improve reliability of product: proposition of a modified fmea to improve reliability of product. In: CIRP DESIGN, 29., 2019, Póvoa de Varzim. Proceedings [...] . Póvoa de Varzim: Cirp Design, 2019. p. 1003-1009.

PAULA, Paulo Marcelo de. PROTÓTIPO DE ELEVADOR DIDÁTICO UTILIZANDO CONTROLADOR PROGRAMÁVEL COM PIC16F877A. 2014. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em:http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3143/1/CT_COALT_2014_1_09.pdf. Acesso em: 03 out. 2020.

PINTO, Marcel de Gois. Modèle de processus pour la conception de produits d'assistance aux personnes en situation de handicap: cas d?étude sur la mobilité personnelle. 2018. 275 f. Tese (Doutorado) - Curso de Génie Industriel, Université Grenoble Alpes, Grenoble, 2018

PRESTES, Ethielle Bordignon de Carvalho; RODRIGUES, Luciana Machado. LEVANTAMENTO SOBRE A IMPORTÂNCIA DE AULAS PRÁTICAS PARA O ENSINO SUPERIOR DE ENGENHARIA. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 8., 2016, Bagé. Anais [...] . Bagé: Siep, 2016. p. 1-2.

ROLIM, Rubens Lopes. Introdução a Engenharia de Confiabilidade. In: VENANZI, Délvio; SILVA, Orlando Roque da (org.). Introdução à Engenharia de Produção: conceitos e casos práticos. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. Cap. 3. p. 46-51.

ROZENFELD, Henrique et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SILVEIRA, Aline Morais da et al. Confiabilidade de Sistemas. Porto Alegre: Sagah, 2019. Revisão técnica: Henrique Martins Rocha.

SUBRIADI, Apol Pribadi; NAJWA, Nina Fadilah. The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment. Heliyon. [S. L.], p. 1-12. jun. 2020.

THABET, Hassaan Th. H.; JAMEEL, Ibraheem S.; HASAN, Ismail Abduljabar. Rehabilitation of an Old Traditional Elevator Based on PLC Techniques. Wasit Journal Of Engineering Sciences. Wasit, p. 76-89. 08 jul. 2018. Disponível em: https://www.iasj.net/iasj?func=article&aId=167295. Acesso em: 26 ago. 2020.

VERGARA,S. Metodologia de Pesquisa Social. São Paulo: Atlas,1997.

WEG. MANUAL DA BANCADA PRINCIPAL. Jaraguá do Sul, [2000-?]. 10 p.

WEG (Santa Catarina). MANUAL DO SERVOCONVERSOR SCA 05: manual do usuário. Jaraguá do Sul: Weg, 2006. 164 p. Software: versão 2.4X.

WEISS, Charles; GASPARIN, Deizi Daiane; SCHLING, Eder Perin. AUTOMAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ELEVADOR INDUSTRIAL DIDÁTICO. 2011. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

APÊNDICE A – RESUMO DO PROJETO DO PROTÓTIPO INICIAL DO ELEVADOR DIDÁTICO – LMA

Título

Elevador Didático de baixo custo a ser acoplado a um sistema servoacionamento vistas a otimizar o processo de ensino/aprendizado de controle de posição e velocidade em sistemas de servoacionamento no LMA/UFPB

Apelido do projeto

ELEVDID-LMA

Contexto

O trabalho foi feito visando atender a solicitação do Coordenador do LMA com a motivação de otimizar o processo de ensino/aprendizado de controle de posição e velocidade em sistemas de servoacionamento no LMA/UFPB

Justificativa

O produto deverá atender às expectativas do professor e alunos e possibilitar o melhor entendimento das possíveis aplicações do servomotor, seu controle e sua precisão.

Objetivo

Desenvolver um produto de baixo custo que permita aos alunos o melhor entendimento sobre o servoacionamento, visto que a forma que era realizada antes apenas com um disco acoplado ao eixo deixava a desejar

Partes Envolvidas

Os interessados neste projeto são o professor Coordenador, o Técnico e os Alunos que serão os usuários.

Equipe Responsável

A equipe é formada pelo Técnico Altemir Tomaz e o Professor Coordenador Isaac Soares de Freitas

Premissas, Limitações e Restrições

O produto será inteiramente desenvolvido e construído dentro na UFFB, no LMA e materiais, com colaboração do respectivo técnico responsável.

Plano de Gerenciamento

O projeto será controlado com reuniões periódicas entre o técnico e Professor Coordenador (onde cada integrante é incentivado a propor modificações visando melhorias, as quais serão analisadas pela equipe e verificadas a viabilidade e as consequências que tais mudanças afetarão no resultado final do produto).

Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE B – Quadros com materiais utilizados e suas funções

Quadro 8 – Materiais utilizados no Grupo Sustentação e suas Funções

ÍTEM	FUNÇÃO	ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO	UNIDADE	QUANT.	IMAGEM
1	Sustentar elementos que formam o elevador, possibilitando fácil instalação dos demais componentes	Eletrocalha Perfurada 200 x 100 mm de 1,87 m	Unid.	1	
2	FIXAR ELEVADOR A ESTRUTURA DA BANCADA DIDÁTICA	Armação 1x1 pressbow; COM 1 FURO	Unid.	4	
3	ELEVAR A ELETROCALHA DO CHÃO E SUSTENTAR O PESO DO ELEVADOR (PÉS)	BARROTE DE MADEIRA 30x50x190 mm	Unid.	2	
4	Fixar OS ELEMENTOS SUSTENTADORES (PÉS) A ELETROCALHA e os FIXADORES DO ELEVADOR A ESTRUTURA DA BANCADA DIDÁTICA	PARAFUSO M6 SEXTAVADO; 40 mm	UNID	8	
5	Fixar o Parafuso M6	PORCA M6	Unid.	12	

6	Distribuir igualmente a força de aperto entre a porta, o parafuso e as partes montadas, referente ao Parafuso M6	ARRUELA LISA P/PARAFUSO M6	Unid.	20	

Fonte: Elaboração Própria.

Quadro 9 – Materiais utilizados no Grupo Cabine e suas Funções

ÍTEM	FUNÇÃO	ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO	UNIDADE	QUANT.	IMAGEM
1	Conectar a cabine as hastes de cobre , de forma que permita o movimentar da cabine pelas guias	Conector de Aterramento Simples Haste ⅝"; Material :Liga de cobre	Unid.	4	
2	Transportar carga na vertical	CABINE: CAIXA PLÁSTICA STRAHL PARA BOTOEIRAS 147X97X70 C/3 FUROS PARA BOTOEIRAS	Unid.	1	
3	Permitir deslizamento da cabine pelas hastes como menor atrito	Abraçadeiras de nylon 04; 08 X 300	Unid.	16	
4	Conectar a Cabine a Força motriz	Cabo de Aço Galvanizado; 2.4 mm	metro	5	

5	Prender Cabine a Cabo de Aço e este ao carretel	Clip de Cabo de aço	Unid.	2	

Fonte: Elaboração Própria.

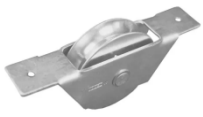
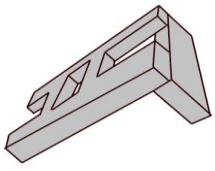
Quadro 10 – Materiais utilizados no Grupo Deslocamento e suas Funções

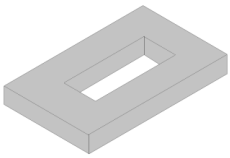
ÍTEM	FUNÇÃO	ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO	UNIDADE	QUANT.	IMAGEM
1	Guiar a cabine no movimento vertical	Haste de Terra de 2 m x ⅝; Material: núcleo em aço-carbono com revestimento de cobre eletrolítico	Unid.	2	
2	Sustentar a Haste de Terra OBS: 2 PARA CADA HASTE	Conector de Aterramento Simples Haste ⅝"; Material : Liga de cobre	Unid.	4	
3	Fixar os conectores de Aterramento que seguram as Hastes de deslizamento na Eletrocalha e Fixar As Hastes no conector	Parafuso Sextavado ¼" x 2	Unid.	4	
4	Prender Parafuso Sextavado ¼" x 2 a eletrocalha	Porca Sextavada UNC ¼"	Unid.	8	

5	Distribuir igualmente a força de aperto entre a porta, o parafuso e as partes montadas, além de distanciar o conector o necessário da cabine para que esse deslize pelas hastes	Arruela Lisa ¼” OBS: 4 PARA CADA CONECTOR	Unid.	16	
6	Distribuir igualmente a força de aperto entre a porta, o parafuso e as partes montadas, além de fixar os parafusos solidários aos conectores referentes às hastes guia à eletrocalha	Arruela Lisa ¼”	Unid	8	

Fonte: Elaboração Própria.

Quadro 11 – Materiais utilizados no Grupo Roldanas e suas Funções

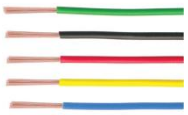
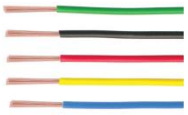
ÍTEM	FUNÇÃO	ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO	UNIDADE	QUANT.	IMAGEM
1	PERMITIR O DESLIZAMENTO DO CABO DE AÇO	Roldana para portão 2 com suporte	Unid.	2	
2	Suportar a Roldana superior e permitir fixação na eletrocalha	Suporte Da Rodana Superior	Unid	1	

3	Suportar a Roldana inferior	Suporte da Roldana Inferior	Unid	1	
4	Fixar o Suporte da Roldana inferior na eletrocalha	Cantoneira 90º; 10 x 13 cm	Unid.	2	

Fonte: Elaboração Própria.

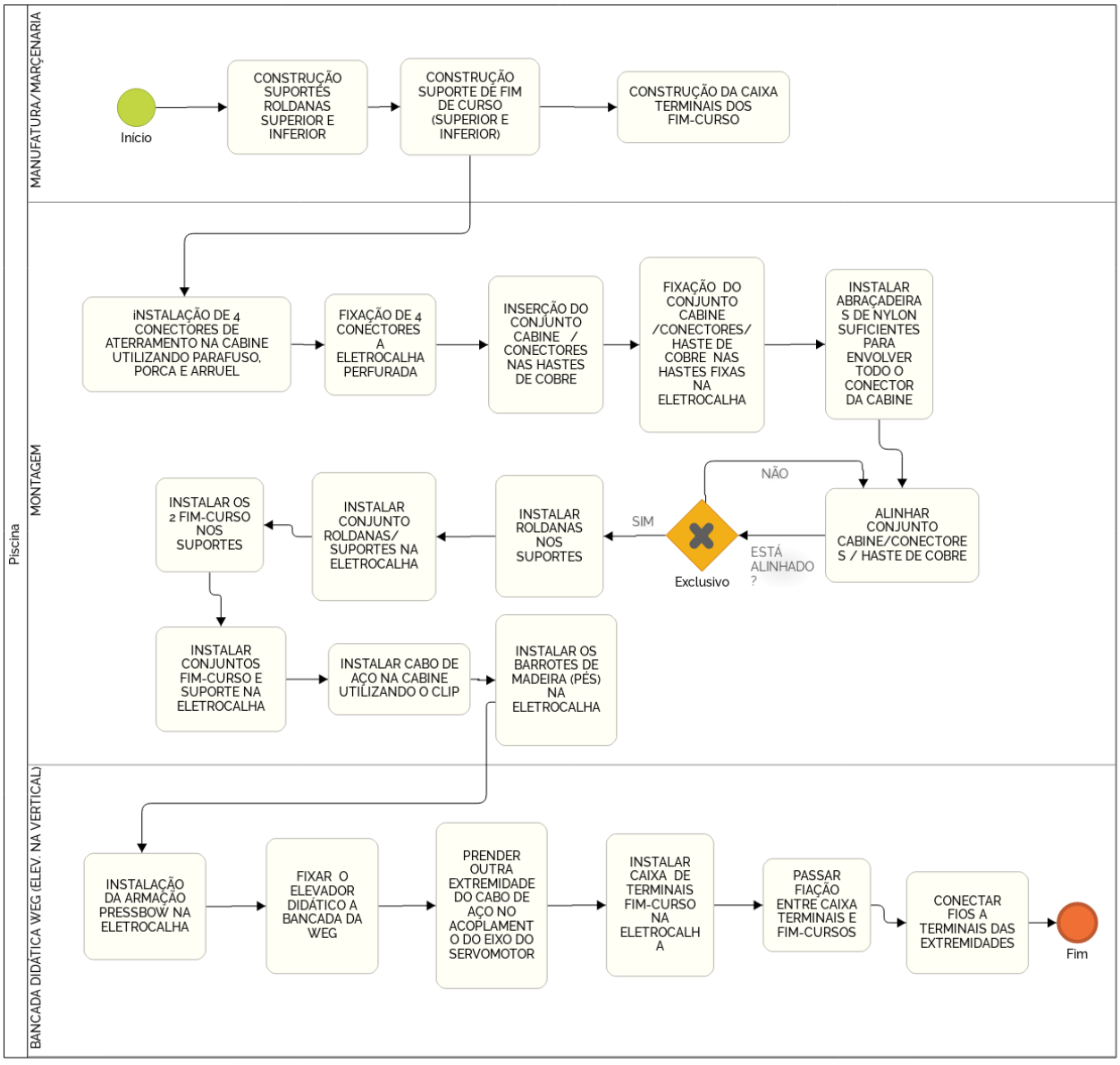
Quadro 12 – Materiais utilizados no Grupo Segurança e suas Funções

ÍTEM	FUNÇÃO	ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO	UNIDADE	QUANT.	IMAGEM
3	Conectar o fio referente ao terminal dos fim de curso ao fio referente ao borne da placa do sensor	Terminal Faston para fio de 1,5 a 2,5 mm de diâmetro	Unid.	4	
4	Interromper o movimento da cabine quando esta chega aos limites superior e inferior	Micro Interruptor Fim de Curso MG-2604 20 AMP MAGIRIUS	Unid.	2	
8	Fixar os fim-curso na placa de madeira / suporte	Abraçadeiras de nylon 2,5 x 100 mm	Unid.	4	

18	Fixar o suporte dos Fim-curso da eletrocalha ; roldana superior e roldana inferior nos suportes e estes na eletrocalha.	Parafuso Máquina, cabeça redonda ⅛” X 1.½”	Unid.	10	
19	Fixar Parafuso Máquina, cabeça redonda ⅛” X 1.½”	porca sextavada bsw ⅛”	Unid.	10	
20	Distribuir igualmente a força de aperto entre a porta , o parafuso e as partes montadas, referente ao Parafuso Máquina, cabeça redonda ⅛” x 1.½”	arruela lisa ⅛ “	Unid.	20	
25	Conectar terminal comum dos fim-cursos ao borne banana fêmea da caixa de conexões	Fio elétrico(Cabo flexível; 1,50 mm diâmetro); cor 1	metro	2	
26	Conectar terminal N.F. do fim-curso inferior e superior ao borne banana fêmea da caixa de conexões	Fio elétrico(Cabo flexível; 1,50 mm diâmetro); cor 2	metro	2,5	

Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DA MONTAGEM DO ELEVADOR DIDÁTICO – LMA



Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE D – DADOS DO ENSAIO 1 – ELEV.DID. LMA

CICLO	Desloc. Pos.1 / Pos.2 (s)	Parada na Pos.2 (s)	Desloc. Pos.2 /Pos.3(s)	Parada na Pos.3(s)	Desloc. Pos.3/Pos.2 (s)	Parada na Pos.2 (s)	Desloc. Pos.2 / Pos.1 (s)	Tempo Total (s)	Quant. Erros
1	14,34	3,20	14,10	3,50	14,10	3,16	14,42	66,82	0
2	14,20	3,20	14,38	3,60	14,00	3,16	14,34	66,88	0
3	14,30	3,30	14,34	3,26	14,01	3,18	14,43	66,82	0
4	14,36	3,22	14,46	3,12	14,08	3,10	14,48	66,82	0
5	14,34	3,10	14,44	3,28	13,94	3,20	14,46	66,76	0
6	14,36	3,22	14,40	3,16	14,04	3,18	14,44	66,80	0
7	14,34	3,20	14,40	3,14	14,08	3,18	14,44	66,78	0
8	14,36	3,20	14,40	3,16	14,06	3,18	14,42	66,78	0
9	14,38	3,18	14,44	3,06	14,08	3,22	14,44	66,80	0
10	14,38	3,22	14,34	3,20	14,02	3,20	14,46	66,82	0
11	14,32	3,22	14,34	3,26	13,98	3,20	14,44	66,76	0
12	14,38	3,18	14,38	3,18	14,04	3,18	13,54	65,88	0
13	14,36	3,20	14,16	3,58	13,84	3,20	14,42	66,76	0
14	14,34	3,22	14,24	3,42	13,96	3,16	14,44	66,78	0
15	14,38	3,18	14,22	3,42	13,92	3,20	14,42	66,74	0
16	14,36	3,18	14,24	3,36	13,94	3,18	14,48	66,74	0
17	14,40	3,18	14,32	3,22	13,96	3,20	14,44	66,72	0
18	14,36	3,18	14,24	3,40	13,92	3,18	14,44	66,72	0
19	14,36	3,18	14,22	3,42	13,94	3,16	14,44	66,72	0
20	14,36	3,18	14,18	3,46	13,94	3,20	14,42	66,74	0
21	14,34	3,20	14,16	3,54	13,86	3,22	14,42	66,74	0
22	14,38	3,18	14,14	3,54	13,86	3,18	14,44	66,72	0
23	14,36	3,20	14,12	3,62	13,80	3,18	14,48	66,76	0
24	14,32	3,20	14,18	3,50	13,90	3,18	14,44	66,72	0
25	14,34	3,22	14,16	3,50	13,90	3,18	14,44	66,74	0
26	14,36	3,22	14,16	3,48	13,90	3,18	14,44	66,74	0
27	14,38	3,20	14,16	3,50	14,04	3,02	14,44	66,74	0
28	14,38	3,20	14,18	3,46	13,88	3,22	14,44	66,76	0
29	14,36	3,16	14,20	3,52	13,86	3,20	14,46	66,76	0
30	14,32	3,22	14,16	3,52	13,86	3,18	14,46	66,72	0
MAIOR	14,4	3,3	14,46	3,62	14,1	3,22	14,48	66,88	0
MÉDIA	14,35	3,20	14,26	3,38	13,96	3,18	14,41	66,73	0
MENOR	14,2	3,1	14,1	3,06	13,8	3,02	13,54	65,88	0
SOMA	430,52	95,94	427,86	101,38	418,71	95,36	432,27	2002,04	0

APÊNDICE E – DADOS DO ENSAIO 2 – ELEV.DID. LMA

CICLO	Deslo c. Pos.1 /Pos.2 (s)	Parad a na Pos.2 (s)	Desloc. Pos.2 /Pos.3(s)	Parada na Pos.3(s)	Desloc. Pos.3/Pos .2 (s)	Parad a na Pos.2 (s)	Deslo c. Pos.2 /Pos.1 (s)	Tempo até primeiro erro (TTF)	Tempo Total Ciclo	QUAN T. ERRO S
1	4,70	2,74	4,98	2,64	4,74	2,70	4,74		27,24	0
2	4,74	2,68				2,68	4,78	14,94	27,26	1
3	4,74	2,70	4,98	2,66	4,72	2,70	4,76		27,26	0
4	4,74	2,70				2,72	4,74	13,32	27,24	1
5	4,76	2,68	5,10	2,46	4,80	2,72	4,72		27,24	0
6	4,74	2,70				2,70	4,78	13,20	27,26	1
7	4,74	2,70	4,92	2,72	4,66	2,72	4,78		27,24	0
8	4,74	2,70	4,92	2,72	4,66	2,74	4,76		27,24	0
9	4,74	2,68	4,84	2,82	4,64	2,72	4,78		27,22	0
10	4,72	2,70	4,94	2,66	4,72	2,70	4,76		27,20	0
11	4,70	2,72	4,94	2,72	4,74	2,66	4,76		27,24	0
12	4,68	2,72	4,98	2,66	4,72	2,70	4,76		27,22	0
13	4,72	2,74	4,90	2,74	4,68	2,72	4,78		27,28	0
14	4,72	2,72	4,94	2,68	4,70	2,72	4,74		27,22	0
15	4,72	2,72	4,96	2,64	4,74	2,70	4,76		27,24	0
16	4,72	2,72				2,74	4,76	13,22	27,26	1
17	4,74	2,68	4,98	2,62	4,76	2,72	4,72		27,22	0
18	4,72	2,70	4,94	2,68	4,70	2,72	4,38		26,84	0
19	4,70	2,72	4,98	2,64	4,72	2,74	5,10		27,60	0
20	4,78	2,70				2,74	4,76	13,14	27,22	1
21	4,78	2,70				2,72	4,82	13,20	27,26	1
22	4,72	2,70				2,68	4,76	12,92	27,22	1
23	4,80	2,76	4,74	2,80	4,56	2,76	4,78		27,20	0
24	4,86	2,72				2,72	4,84	13,66	27,22	1
25	4,78	2,76	4,82	2,66	4,62	2,76	4,78		27,18	0
26				2,58				5,88	27,20	2
27								6,06	27,20	3
28	4,68	2,72	4,90	2,82	4,62	2,72	4,72		27,18	0
29	4,64	2,74	4,90	2,80	4,64	2,72	4,72		27,16	0
30	4,66	2,72	4,92	2,76	4,60	2,76	4,72		27,14	0
31	4,74	2,74	4,82	2,70	4,58	2,74	4,74		27,06	0
32	6,06						20,98	6,72	27,04	3
33	4,80	2,72	4,90	2,78	4,64	2,74	4,84		27,42	0
34	4,88	2,76	4,80	2,74	4,60	2,74	4,90		27,42	0
35	4,82	2,74	4,86	2,70	4,62	2,78	4,86		27,38	0
36	4,86	2,74	4,84	2,74	4,58	2,78	4,90		27,44	0
37	4,86	2,74	4,84	2,72	4,60	2,78	4,88		27,42	0
38	4,86	2,74	4,84	2,72	4,58	2,80	4,86		27,40	0
39	4,86	2,76	4,82	2,74	4,60	2,76	4,90		27,44	0
40	4,84	2,76	4,82	2,72	4,60	2,76	4,92		27,42	0
41	4,86	2,74	4,82	2,72	4,62	2,76	4,88		27,40	0
42	4,84	2,76	4,84	2,70	4,62	2,76	4,88		27,40	0
43	4,86	2,76	4,80	2,74	4,62	2,74	4,90		27,42	0
44							56,50	6,12	27,42	3

45	4,74	2,72	4,96	2,76	4,72	2,68	4,78		27,36	0
46	4,80	2,72	4,90	2,74	4,66	2,74	4,82		27,38	0
47	4,84	2,70	4,92	2,64	4,68	2,74	4,82		27,34	0
48	4,78	2,72	4,92	2,66	4,66	2,74	4,86		27,34	0
49	4,78	2,74	4,90	2,70	4,60	2,76	4,86		27,34	0
50	4,84	2,70	4,92	2,62	4,64	2,78	4,86		27,36	0
MAIOR	6,06	2,76	5,1	2,82	4,8	2,8	56,5	14,94	27,6	3
MÉDIA	4,80	2,72	4,90	2,70	4,66	2,73	6,21	11,03(MTTF)	27,28	0,38
MENOR	4,64	2,68	4,74	2,46	4,56	2,66	4,38	5,88	26,84	0
SOMA	225,40	125,20	186,10	105,32	176,96	125,68	298,20	132,38	1363,90	19,00

Fonte: Elaboração Própria

REGISTRO DE MANUTENÇÕES

ÍTEM	APÓS CICLO	Falhas	DURAÇÃO	
			segundos	minutos
1	6	Sensor Posição 3 nos ciclos 2,4 e 6	160	2,67
2	21	Sensor Posição 3 nos ciclos 16,20 e 21	703	11,72
3	26	No ciclo 22 e 24 , o sensor da Posição 3 não é acionado no momento de parada na posição 3 e no ciclo 26 existem 2 falhas relacionadas a Posição 2	180	3,00
4	27	Na subida não aciona sensor Pos.2; não aciona pos . 3 e na descida não aciona sensor Pos.2 no ciclo 27	120	2,00
5	32	Na subida não aciona sensor Pos.2; não aciona pos . 3 e na descida não aciona sensor Pos.2 no ciclo 32	951,02	15,85
6	44	Na subida não aciona sensor Pos.2; não aciona pos . 3 e na descida não aciona sensor Pos.2 no ciclo 44	142,87	2,38
		SOMA	2256,89	37,61
		MÉDIA	376,15	6,27

Fonte: Elaboração Própria

TEMPO ENTRE AS FALHAS – ENSAIO 2

FALHA	FALHA	∆t TEMPO ENTRE FALHAS (s) (TBF)
1	2	52,90
2	3	54,36
3	4	272,38
4	5	108,84
5	6	27,28
6	7	26,98
7	8	55,16
8	9	46,62
9	10	9,96
10	11	8,79
11	12	7,62
12	13	7,36
13	14	122,79
14	15	6,70
15	16	7,24
16	17	314,06
17	18	8,18
18	19	6,20
MÉDIA (MTBF)		63,52

Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE F – DADOS DO ENSAIO 3 – ELEV. DID. LMA

REGISTRO APENAS DOS CICLOS QUE OCORRERAM ERROS

CICLO	Tempo até primeiro erro (s)	Tempo entre o primeiro e segundo erro(s)	Tempo entre o segundo e terceiro erro(s)	Tempo entre o terceiro erro e o fim(s)	Tempo Total Ciclo(s)	QUANT. ERROS
1	3,78	3,94	4,26	4,04	16,02	3
3	8,98	3,72		24,46	16,14	2
4	12,58		0,00	24,76	16,14	1
9	8,58		0,00	21,90	16,14	1
10	7,30		0,00	24,00	16,02	1
14	8,40		0,00	30,54	15,60	1
16	7,16		0,00	21,46	15,64	1
24	16,64		0,00	36,12	16,10	1
25	16,20		0,00	48,62	16,12	1
27	16,18		0,00	23,24	16,10	1
57	12,70		0,00	23,88	16,02	1
59	12,18		0,00	23,08	16,00	1
60	3,18	9,04	-19,12	22,88	15,98	2
86	7,44		0,00	23,38	15,96	1
87	7,60	4,96	-23,62	27,02	15,96	2
102	12,64		0,00	22,90	16,00	1
103	12,26		0,00	24,66	16,02	1
104	12,20		0,00	24,14	16,00	1
MAIOR	16,64	9,04	4,26	48,62	16,14	3
MÉDIA	10,33 (MTTF)	5,42	-2,26	25,06	16,00	1,28
MENOR	3,18	3,72	-23,62	4,04	15,6	1
SOMA	186,00	21,66	-38,48	451,08	287,96	23,00

Fonte: Elaboração Própria

RELAÇÃO DE MANUTENÇÃO

ÍTEM	APÓS CICLO	Falhas	DURAÇÃO	
			segundos	minutos
1	1	Sensor Posição 2 na Subida ;Sensor Posição 3;Sensor Posição2/Descida	53,53	0,89
2	4	Sensor Posição 3;Sensor	39,45	0,66

		Posição2/Descida		
3	14	Sensor Posição 3	730,22	12,17
4	25	Sensor Posição 3	123,38	2,06
5	60	Ciclo 57 e 59:Na volta não acionou sensor da Posição 2;Ciclo 60:Sensor da Posição 2 na Ida e na volta	375,38	6,26
6	87	Ciclo 86: Sensor da Posição 3 ; Ciclo 87: Sensor da Posição 3 e Sensor da Posição 2 volta	160,09	2,67
7	104	Ciclo 102, 103 e 104 :Sensor da Posição 2	82,01	1,37
		SOMA	1564,06	26,07
		MÉDIA	(MTTR) 223,44	3,72

TEMPO ENTRE FALHAS – ENSAIO 3

FALHA	FALHA	TEMPO (s)
1	2	3,94
2	3	4,26
3	4	32,70
4	5	3,72
5	6	3,44
6	7	76,50
7	8	14,86
8	9	63,92
9	10	15,58
10	11	137,70
11	12	15,66
12	13	32,20
13	14	469,00
14	15	31,48
15	16	7,00
16	17	9,04
17	18	409,82
18	19	16,12
19	20	4,96
20	21	246,30
21	22	15,62
22	23	15,96
	MÉDIA(MTBF)	74,08

APÊNDICE G – TABELA COM PARÂMETROS RELACIONADOS AOS ENSAIOS

PARÂMETROS DO SERVOACIONAMENTO NO ENSAIO 1										
P100	333	P126	12	P264	21	P444	1	P454	3	P464
P101	333	P202	3	P441	1	P451	3	P461	2500	P481
P124	-12	P229	1	P442	1	P452	3	P462	2500	P482
P125	-12	P263	1	P443	1	P453	3	P463	2500	P483 P484

PARÂMETROS DO SERVOACIONAMENTO PARA ENSAIO 2											
P100	333	P126	36	P264	21	P444	1	P454	3	P464	2500
P101	333	P202	3	P441	1	P451	3	P461	2500	P481	3
P124	-36	P229	1	P442	1	P452	3	P462	2500	P482	3
P125	-36	P263	1	P443	1	P453	3	P463	2500	P483 P484	3 3

PARÂMETROS DO SERVOACIONAMENTO PARA ENSAIO 3											
P100	333	P126	84	P264	21	P444	1	P454	3	P464	2500
P101	333	P202	3	P441	1	P451	3	P461	2500	P481	3
P124	-84	P229	1	P442	1	P452	3	P462	2500	P482	3
P125	-84	P263	1	P443	1	P453	3	P463	2500	P483 P484	3 3

CARGA DENTRO DA CABINE	2 discos de 2N
DISTÂNCIA ENTRE CENTRO DE EIXO DO SERVOMOTOR E PAREDE DE FUNDO DA ELETROCALHA:	540 mm
DISTÂNCIA ENTRE O PISO E A BASE DO SERVOMOTOR:	164 mm

APÊNDICE H – FICHA DE FMEA – PARTE I

FICHA DE FMEA : 0001-ELEV.DID.-LMA		INSTITUIÇÃO : UFPB	CENTRO: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS			
DATA INICIAL: 01/11/2020	DATA FINAL : 20/11/2020	SETOR : LABORATÓRIO DE MÁQUINAS E ACIONAMENTOS	CHEFE DO SETOR: ISAAC SOARES DE FREITAS	COORDENADOR DO FMEA: ALTEMIR TOMAZ	DEMAIS PARTICIPANTES: 3	PARTE : 1 DE 2
PRODUTO/PROJETO EM ANÁLISE: PROTÓTIPO DE ELEVADOR DIDÁTICO - LMA / MECANISMO A SER ACOPLADO NO SERVOMOTOR DO KIT SERVOACIONAMENTO WEG						

ÍTEM	GRUPO	ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO	FUNÇÃO	MODO POTENCIAL DE FALHA	EFEITOS POTENCIAIS DE FALHA	CAUSA DO MODO POTENCIAL DE FALHA	CONTROLE DE PREVENÇÃO	CONTROLE DE DETECÇÃO
1	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	Transportar carga na vertical	Não se posicionar de forma linear no sentido vertical de maneira desejada	A cabine fica numa posição que não era a esperada e a precisão do servomotor não pode ser apresentada aos alunos.	O cabo de aço , de forma esporádica não se acomoda como esperado no carretel improvisado.	Revisão de Projeto	Instalar dispositivos que avaliem se a cabine está na posição que deveria estar (relação : giro do eixo servomotor/altura da cabine)
2	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	Transportar carga na vertical	Não se posicionar de forma linear no sentido vertical de maneira desejada	A cabine fica numa posição que não era a esperada e a precisão do servomotor não pode ser apresentada aos alunos.	A polia inferior vibra e interfere no rendimento do elemento de transmissão mecânica	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade

3	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	Transportar carga na vertical	Não suporta a carga instalada no seu interior	Fratura na cabine , na área relacionada à fixação do cabo de aço	Sobrecarga resultante de Peso/Carga colocado dentro da cabine	Solicitar ao fabricante dados de ensaio de Tração da cabine ou realizar tal ensaio e pré-definir até que carga pode ser submetida à cabine	Teste de funcionabilidade
4	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	Transportar carga na vertical	Não suporta a carga instalada no seu interior	Fratura na cabine , na área relacionada a fixação do cabo de aço	Sobrecarga resultante de Peso/Carga colocado dentro da cabine	Após verificar que carga máxima a cabine suporta, verificar o torque equivalente que irá provocar no servomotor e limitar no servoacionamento para que a partir deste seja gerado uma parada não permitindo que o sistema de servoacionamento funcione	Teste de funcionalidade
5	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	Transportar carga na vertical	Cabine ao estar posicionada num nível mais elevado por algum motivo (falta de energia elétrica, falha no servomotor; rompimento do cabo de aço) desce bruscamente	Cabine sofre fratura	Falta de Energia	Instalar dispositivo que detecte a falta de energia e dispositivo que acione frenagem	Teste de funcionabilidade

6	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	Transportar carga na vertical	Cabine ao estar posicionada num nível mais elevado por algum motivo (falta de energia elétrica, falha no servomotor; rompimento do cabo de aço) desce bruscamente	Cabine sofre fratura	Falha no servomotor	Instalar dispositivo que detecte que cabine está caindo desgovernada e dispositivo que acione frenagem	Teste de funcionabilidade
7	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	Transportar carga na vertical	Cabine ao estar posicionada num nível mais elevado por algum motivo (falta de energia elétrica, falha no servomotor; rompimento do cabo de aço) desce bruscamente	Cabine sofre fratura	Rompimento do Cabo de aço	Solicitar ao fabricante dados de ensaio de Tração do cabo de aço ou realizar tal ensaio e pré-definir até que carga pode ser submetida o cabo de aço	Teste de funcionabilidade
8	Cabine	Cabo de Aço Galvanizado ; 2.4 mm	Conectar a Cabine a Força motriz	Sua acomodação no carretel, na medida em que o eixo do servomotor rotaciona é imprevisível	Transmite vibração para outras partes do Elevador podendo desestabilizar o funcionamento de alguns elementos mecânicos.	O carretel improvisado não apresenta arquitetura satisfatória	Revisão de Projeto Revisão de Projeto	Inspeção visual Teste de funcionabilidade

9	Cabine	Clip de Cabo de aço	Prender Cabine a Cabo de Aço e este ao carretel	O único clip que prende a cabine apresenta folga e solta o cabo de aço	A cabine solta podendo apresentar fratura	Proteção insuficiente	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade
10	Cabine	Abraçadeiras de nylon 04; 08 X 300	Permitir deslizamento da cabine pelas hastes como menor atrito	Não permitir o deslizamento esperado entre cabine e hastes	Cabine não se posiciona corretamente Cabine não desenvolve a velocidade esperada	Atrito entre abraçadeira e partes móveis	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade
11	Cabine	Abraçadeiras de nylon 04; 08 X 300	Permitir deslizamento da cabine pelas hastes como menor atrito	Abraçadeira rompe precocemente ou se desgasta mecanicamente ficando com áreas desbastadas	Desgaste do material de forma prematura, necessitando de uma periodicidade alta de troca	Atrito entre abraçadeira e partes móveis provocando aumento da temperatura ou desbaste mecânico	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade
12	Cabine	Conector de Aterramento Simples Haste ⅝”; Material : cobre	Conectar a cabine as hastes de cobre , de forma que permita o movimentar da cabine pelas guias	Deslizamento da cabine não ocorre como esperado	Cabine não se posiciona corretamente	Atrito entre abraçadeira e partes móveis provocando aumento da temperatura ou desbaste mecânico	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade

13	Cabine	Conector de Aterramento Simples Haste ⅝"; Material : : Liga de cobre	Conectar a cabine as hastes de cobre , de forma que permita o moviment ar da cabine pelas guias	Na aplicação atual tende a ter vida útil reduzida	desgaste do material(haste, conectores e abraçadeiras) de forma prematura, necessitando de uma peridiodicidade alta de troca	Desgaste	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade
14	Deslocamento	Haste de terra de 2 m x ⅝; material: núcleo em aço-carbono com revestimento de cobre eletrolítico	Guiar a cabine no moviment o vertical	Na aplicação atual tende a ter vida útil reduzida	Desgaste do material (haste, conectores e abraçadeiras) de forma prematura, necessitando de uma periodicidade alta de troca	Desgaste	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade
15	Deslocamento ; Sustentação	Arruela Lisa ¼"	Distribuir igualment e a força de aperto entre a porta , o parafuso e as partes montadas, além de fixar os parafusos solidários aos conectore s	Folga prematura desses elementos de fixação	elementos mecânicos que eram conectados através destes não ficam fixos o suficiente ou podem com o tempo até se desprender	Vibração no Equipamento	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade

			referentes as hastes guia à eletrocalha					
16	Deslocamento ; Sustentação	Porca Sextavada UNC ¼”	Prender Parafuso Sextavado ¼” x 2 a eletrocalha	Folga prematura desses elementos de fixação	elementos mecânicos que eram conectados através destes não ficam fixos o suficiente ou podem com o tempo até se desprender	Aperto no conjunto Parafuso,Arruela , Porca , insuficiente	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade
17	Segurança	Terminal Faston para fio de 1,5 a 2,5 mm de diâmetro	Conectar o fio referente ao terminal do fim de curso ao fio referente ao borne da placa do sensor	Curto-circuito provocado entre a parte metálica do terminal e estrutura em caso de terminal soltar acidentalmente	Possibilidade de danificar a fonte interna do servoacionamento que fornece os 24 vdc a todo o sistema de entradas	O terminal Faston solta de onde está fixo e encosta a sua parte condutora na Estrutura metálica.	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade
18	Sustentação	Eletrocalha Perfurada 200 x 100 mm de 1,87 m	Sustentar elementos que formam o elevador, possibilitando fácil instalação dos	Existência de arestas cortantes	O usuário se corta ao deslizar a pele sobre as arestas cortantes; obs: isto aconteceu com o construtor	Acabamento das arestas inadequado para o uso que está sendo dado.	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade

19	Sustentação	Eletrocalha Perfurada 200 x 100 mm de 1,87 m	demais componentes	Descarga elétrica acidental, devido a possível contato de elemento elétrico ativo.	Choque em usuário que tem contato manual com a eletrocalha; dano em dispositivo elétrico fixo em eletrocalha	Parte condutora do terminal faston ou algum fio desencapa e encosta na Eletrocalha.	Revisão de Projeto	Teste de funcionabilidade

Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE I – FICHA DE FMEA – PARTE II

ÍTEM	GRUPO	ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO	**S**	**O**	**D**	**Risco (R)**	AÇÕES RECOMENDADAS
1	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	8	10	5	400	Substituir o cabo de aço por Corda Trançada PP 2 mm de Polipropileno (Ruptura 68 Kgf.) e Avaliar
2	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	8	8	5	320	1º Furar Eletrocalha para poder fixar melhor as cantoneiras (item 4 do Quadro 12) e Avaliar; 2º Retirar a Polia Inferior, de maneira que do Carretel ou Polia fixa no servomotor o elemento de transmissão mecânica siga diretamente para a polia inferior e posteriormente para a cabine e Avaliar;
3	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	8	1	5	40	1º Caso o fabricante da cabine informe os dados Informar ao usuário a carga máxima recomendada que deva ser utilizada no interior da cabine; 2º Caso o fabricante não forneça os dados sobre a cabine realizar ensaio de Tração na Cabine num laboratório de Engenharia de Materiais;
4	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	8	1	4	32	Verificar se existe condição de Parametrizar o inversor de forma que se for colocado mais carga do que o desejado na cabine o sistema detecte através da relação Nm/ A e indique uma parada de emergência ou falha
5	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	7	4	3	84	Comprar Freio adequado para o sistema ou Projetar um.
6	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	7	3	8	168	Habilitar saída do inversor que indique o fato do servomotor estar em falha, e desta forma, acione mecanismo de frenagem.

7	Cabine	Cabine: caixa plástica strahl para botoeiras 147x97x70 c/3 furos para botoeiras	7	1	9	63	1º Aguardar os resultados do item 1.1 que possuem maior **R,** pois dependendo disso o cabo de aço será substituído; 2º Caso o Cabo de aço seja mantido, realizar inspeções semanais neste procurando identificar o momento certo da troca;
8	Cabine	Cabo de Aço Galvanizado; 2.4 mm	6	8	1	48	Substituir o cabo de aço por Corda Trançada PP 2 mm de Polipropileno (Ruptura 68 Kgf)
							Fabricação e readequação de polia ao eixo do servomotor;
9	Cabine	Clip de Cabo de aço	7	3	8	168	1º Aguardar os resultados do item 1.1 que possuem maior R, pois dependendo disso o cabo de aço será substituído e não será mais necessária a troca; 2º Caso o Cabo de aço seja mantido, instalar mais um clip;
10	Cabine	Abraçadeiras de nylon 04; 08 X 300	8	5	3	120	1º Testar o uso de bucha de bronze grafitado que seja adequada para ser instalada nos conectores de cobre instalados na cabine e avaliar; 2º Caso a primeira não render os resultados esperados utilizar varões de aço carbono e guias de aço com buchas de bronze grafitadas, garantindo assim uma maior vida útil e eliminando folgas durante o movimento;
11	Cabine	Abraçadeiras de nylon 04; 08 X 300	7	2	3	42	Inspeção visual semanalmente a fim de detectar necessidade de troca.
12	Cabine	Conector de Aterramento Simples Haste ⅝”; Material : Liga de cobre	6	6	2	72	Utilizar varões de aço carbono e guias de aço com buchas de bronze grafitadas, garantindo assim uma maior vida útil e eliminando folgas durante o movimento;
13	Cabine	Conector de Aterramento Simples Haste ⅝”; Material : Liga de cobre	3	7	5	105	

14	Deslocamento	Haste de terra de 2 m x ⅝; material: núcleo em aço-carbono com revestimento de cobre eletrolítico	3	7	5	105	
15	Deslocamento ; Sustentação	Arruela Lisa ¼”	2	5	7	70	Substituição das arruelas lisa de fixação de elementos arruelas de pressão, eliminando assim a folga prematura desses elementos de fixação;
16	Deslocamento ; Sustentação	Porca Sextavada UNC ¼”	2	5	7	70	Substituição das porcas, por porcas autotravantes eliminando assim a folga prematura desses elementos de fixação;
17	Segurança	Terminal Faston para fio de 1,5 a 2,5 mm de diâmetro	9	4	7	252	Substituir por Terminal Faston Totalmente Isolado
18	Sustentação	Eletrocalha Perfurada 200 x 100 mm de 1,87 m	9	2	5	90	Instalar Borracha Acabamento Universal Fino Casca Cobra
19	Sustentação	Eletrocalha Perfurada 200 x 100 mm de 1,87 m	9	2	6	108	Disponilizar caixa com borne para conexão do TERRA entre a carcaça do elevador e o borne de Aterramento do kit WEG. Assim será conectado um fio entre a carcaça do Elevador e a caixa de borne que ficará no elevador . OBS : SERÁ NECESSÁRIO CONECTAR UM CABO BANANA-BANANA ENTRE A CAIXA DE BORNE TERRA DO ELEVADOR E O BORNE DE ATERRAMENTO DO KIT WEG