

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS CAMPUS ITUMBIARA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**



Fabio Junio Moreira Nascimento

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTRICAS E ESTRATEGIAS DE MANUTENÇÃO
PARA PLANTA DIDÁTICA INDUSTRIAL**

Itumbiara/GO

2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Fabio Junio Moreira Nascimento

Matrícula: 20201040100111

Título do Trabalho: Desenvolvimento de Métricas e Estratégias de Manutenção para Planta Didática Industrial.

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 28 / 08 / 2025.

Local Data



Documento assinado digitalmente
FABIO JUNIO MOREIRA NASCIMENTO
Data: 28/08/2025 16:05:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Fabio Junio Moreira Nascimento

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTRICAS E ESTRATEGIAS DE MANUTENÇÃO
PARA PLANTA DIDÁTICA INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a banca avaliadora, parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação junto ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara.

Orientador: Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente

Itumbiara/GO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N244 Nascimento, Fabio Junio Moreira

Desenvolvimento de métricas e estratégias de manutenção para planta didática industrial. -- Itumbiara, 2025.
93 p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente.

1. Confiabilidade (Engenharia). 2. Manutenção e reparos. 3. Instalações industriais - Layout. I. Título. II. Nascimento, Fabio Junio Moreira. III. Vicente, Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini. IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 629

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecária: Marla de Souza Correia CRB-1/3011



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

FABIO JUNIO MOREIRA NASCIMENTO

DESENVOLVIMENTO DE MÉTRICAS E ESTRATEGIAS DE MANUTENÇÃO PARA PLANTA DIDÁTICA INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em 22 de Agosto de 2025.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Orientador

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Diogo Soares Resende
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Wellington do Prado
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Diogo Soares Resende**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/08/2025 16:14:58.
- **Wellington do Prado**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/08/2025 17:59:30.
- **Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/08/2025 15:54:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 682950

Código de Autenticação: f0cafde75



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Furnas, nº 55, 55, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010
(64) 2103-5622 (ramal: 5622)

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho representa um capítulo significativo em minha jornada acadêmica, assim expresse minha gratidão a todos que contribuíram para esse feito.

Agradeço profundamente a Deus, fonte de toda sabedoria, que me sustentou a o longo de todo esse trajeto, sempre me dando forças para continuar e escapar dos pensamentos de desistência.

Aos meus pais, meu eterno reconhecimento pelo amor incondicional, pelo apoio inestimável, por serem meus maiores incentivadores e meu porto seguro. Mesmo diante de adversidade nunca deixaram de me apoiar e acreditar em min, sempre me incentivando a seguir em frente.

Ao Instituto Federal de Goiás – Campus Itumbiara, minha imensão gratidão por me acolher e proporcionar toda a infraestrutura, ambiente acadêmico e oportunidades. O Instituto desempenhou um papel fundamental em minha formação, permitindo o desenvolvimento de habilidades e oferecendo recursos e suporte que foram essenciais para o enriquecimento da minha experiência educacional.

Aos professores, técnicos e funcionários que tornaram esta jornada grandiosa, meu mais profundo agradecimento. A cada um de vocês, que dedicaram tempo, paciência e expertise para ensinar, orientar e apoiar, meu reconhecimento por todo o empenho e comprometimento.

Um agradecimento especial destinado a o meu professor e orientador, Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente. Sua dedicação, conhecimento e paciência foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Suas orientações sábias foram guias essenciais, e estou verdadeiramente grato por tê-lo como mentor.

Aos colegas de turma, que se tornaram amigos e futuros companheiros de profissão, obrigado por fazerem parte desta caminhada. Os momentos que compartilhamos, as risadas, os debates, as longas horas de estudo e os projetos em equipe ficarão guardados em minha memória como parte fundamental desta experiência. Vocês tornaram esta jornada ainda mais especial.

A todos que compartilharam essa jornada comigo, agradeço por cada palavra de encorajamento, cada conselho construtivo e por serem parte integrante deste sucesso. Muito obrigado por fazerem parte dessa trajetória inspiradora.

RESUMO

A manutenção industrial é um pilar para a garantia da disponibilidade, confiabilidade e eficiência dos equipamentos em plantas industriais. Este trabalho aborda a manutenção em seus diversos âmbitos, incluindo sistemas hidráulicos, pneumáticos, elétricos e de instrumentação. A oportunidade deste estudo reside na aplicação de conceitos teóricos e práticos de engenharia para a gestão de ativos em um ambiente acadêmico, enfrentando o desafio de estruturar um plano para uma planta didática com tempo de operação reduzido e sem histórico consolidado de falhas. O objetivo principal foi desenvolver métricas e estratégias de manutenção para a planta didática DLB CP003-UA, envolvendo o mapeamento completo de seus componentes, a análise de criticidade e a construção de um plano de manutenção preventiva. Como resultado, foi desenvolvido um plano de manutenção detalhado, com a catalogação de equipamentos, o mapeamento de modos de falha, o cálculo de indicadores de desempenho como TMEF e TMPR, e a elaboração de diagramas de criticidade, oferecendo um guia prático para assegurar a integridade e a disponibilidade da planta.

Palavras-chave: Planejamento de Manutenção, Plantas Industriais, Manutenção de Utilidades, Confiabilidade, Indicadores de Desempenho.

ABSTRACT

Industrial maintenance is a cornerstone of ensuring the availability, reliability, and efficiency of equipment in industrial plants. This paper addresses maintenance in its various areas, including hydraulic, pneumatic, electrical, and instrumentation systems. The opportunity of this study lies in the application of theoretical and practical engineering concepts to asset management in an academic environment, addressing the challenge of structuring a plan for a teaching plant with reduced operating time and no consolidated failure history. The main objective was to develop maintenance metrics and strategies for the DLB CP003-UA teaching plant, involving the complete mapping of its components, criticality analysis, and the construction of a preventive maintenance plan. As a result, a detailed maintenance plan was developed, including equipment cataloging, failure mode mapping, calculation of performance indicators such as TMEF and TMPR, and the creation of criticality diagrams, offering a practical guide to ensuring the integrity and availability of the plant.

Keywords: Maintenance Planning, Industrial Plants, Utility Maintenance, Reliability, Performance Indicators.

LISTA DE TABELAS

TABELAS

Tabela 1: Exemplos de Tempo na manutenção Preventiva	22
Tabela 2: Tipos de Falha Aquecedor	30
Tabela 3: Índices Aquecedor.....	30
Tabela 4: Tipos de Falha Bomba de Água	32
Tabela 5: Índices Bomba de Água	32
Tabela 6: Tipos de Falha Compressor	34
Tabela 7: Índices Compressor.....	35
Tabela 8: Tipos de falha Trocador de Calor	37
Tabela 9: Índices Trocador de Calor	37
Tabela 10: Tipos de Falha Válvula Solenoide	39
Tabela 11: Índices Válvula Solenoide	39
Tabela 12: Tipos de Falha Válvula Posicionadoras.....	41
Tabela 13: Índices Válvula Posicionadoras	42
Tabela 14: Tipos de falha CLP	44
Tabela 15: Índices CLP	44
Tabela 16: Tipos de falha Inversor de Frequência	46
Tabela 17: Índices Inversor de Frequência	46
Tabela 18: Tipos de falha IHM	48
Tabela 19: Índices IHM	48
Tabela 20: Tipos de falha PT100	50
Tabela 21: Índices PT100	51
Tabela 22: Tipos de falha DTP(Vazão)	53
Tabela 23: Índices DTP(Vazão)	53
Tabela 24: Tipos de falha DTP(Nível)	55
Tabela 25: Índices DTP(Nível)	55
Tabela 26: Tipos de falha Transmissor por Pressão	57
Tabela 27: Índices Transmissor por Pressão	58
Tabela 28: Tipos de falha Manômetro.....	60
Tabela 29: Índices Manômetro	60
Tabela 30: Tipos de falha Transdutor de Pressão.....	62
Tabela 31: Índices Transdutor de Pressão.....	62

Tabela 32: Tipos de falha Sensor de Nível Hidrostático.....	64
Tabela 33: Índices Sensor de Nível Hidrostático.....	64
Tabela 34: Tipos de falha Válvula Alivio de Segurança	66
Tabela 35: Índices Válvula Alivio de Segurança.....	67
Tabela 36: Tipos de falha Termostato de Segurança.....	69
Tabela 37: Índices Termostato de Segurança.....	69
Tabela 38: Tipos de falha Pressostato de Segurança.....	71
Tabela 39: Índices Pressostato de Segurança	72
Tabela 40: Tipos de falha Tanques	74
Tabela 41: Índices Tanques	74

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1: Planta Didática DLB CP003-UA	18
Figura 2: Organograma Simplificado dos Tipos de Manutenção	20
Figura 3: Exemplo Fluxograma de Criticidade	27
Figura 4: Exemplo Tabela de Criticidade	27
Figura 5: Aquecedor	29
Figura 6: Fluxograma de Criticidade Aquecedor	30
Figura 7: Tabela de Criticidade Aquecedor	31
Figura 8: Bomba de Água	31
Figura 9: Fluxograma de Criticidade Bomba da Água	33
Figura 10: Tabela de Criticidade Bomba da Água	33
Figura 11: Compressor de Ar	34
Figura 12: Tabela de Criticidade Compressor de Ar	35
Figura 13: Fluxograma de Criticidade Compressor de Ar	36
Figura 14: Trocador de Calor	37
Figura 15: Tabela de Criticidade Compressor de Ar	38
Figura 16: Fluxograma de Criticidade Compressor de Ar	38
Figura 17: Válvula Solenoide	39
Figura 18: Tabela de Criticidade Válvula Solenoide	40
Figura 19: Fluxograma de Criticidade Válvula Solenoide	40
Figura 20: Válvula Posicionadora	41
Figura 21: Tabela de Criticidade Válvula Posicionadora	42
Figura 22: Fluxograma de Criticidade Válvula Posicionadora	43
Figura 23: CLP	43
Figura 24: Tabela de Criticidade CLP	45
Figura 25: Fluxograma de Criticidade CLP	45
Figura 26: Inversor de Frequência	46
Figura 27: Tabela de Criticidade Inversor de Frequência	47
Figura 28: Fluxograma de Criticidade Inversor de Frequência	47
Figura 29: IHM	48
Figura 30: Tabela de Criticidade IHM	49
Figura 31: Fluxograma de Criticidade IHM	49

Figura 32: Transmissor de Temperatura (PT100)	50
Figura 33: Tabela de Criticidade PT100.....	51
Figura 34: Fluxograma de Criticidade PT100.....	52
Figura 35: Transmissor Diferencial de Pressão (Vazão).....	53
Figura 36: Tabela de Criticidade DTP(Vazão).....	54
Figura 37: Fluxograma de Criticidade DTP(Vazão).....	54
Figura 38: Transmissor Diferencial de Pressão (Nível).....	55
Figura 39: Tabela de Criticidade DTP(Nível).....	56
Figura 40: Fluxograma de Criticidade DTP(Nível).....	56
Figura 41: Transmissor por Pressão	57
Figura 42: Tabela de Criticidade Transmissor por Pressão	58
Figura 43: Fluxograma de Criticidade Transmissor por Pressão.....	59
Figura 44: Manômetro	60
Figura 45: Tabela de Criticidade Manômetro	61
Figura 46: Fluxograma de Criticidade Manômetro	61
Figura 47: Transdutor de Pressão.....	62
Figura 48: Tabela de Criticidade Transdutor de Pressão	63
Figura 49: Fluxograma de Criticidade Transdutor de Pressão	63
Figura 50: Sensor de Nível Hidrostático.....	64
Figura 51: Tabela de Criticidade Sensor de Nível Hidrostático	65
Figura 52: Fluxograma de Criticidade Sensor de Nível Hidrostático	65
Figura 53: Válvula de Alívio e Segurança.....	66
Figura 54: Tabela de Criticidade Válvula Alívio de Segurança.....	67
Figura 55: Fluxograma de Criticidade Válvula Alívio de Segurança	68
Figura 56: Termostato de Segurança.....	69
Figura 57: Tabela de Criticidade Termostato de Segurança	70
Figura 58: Fluxograma de Criticidade Termostato de Segurança	70
Figura 59: Pressostato de Segurança.....	71
Figura 60: Tabela de Criticidade Pressostato de Segurança	72
Figura 61: Fluxograma de Criticidade Pressostato de Segurança	73
Figura 62: Tanques	74
Figura 63: Tabela de Criticidade Tanques	75
Figura 64: Fluxograma de Criticidade Tanques.....	75
Figura 65: Índice de Manutenção Falhas	76

Figura 66: Índice de Custos Manutenção	77
Figura 67: Detritos no Filtro Regulador da FV1	78
Figura 68: Dreno de água Compressor	79
Figura 69: Nível do Óleo Compressor	79
Figura 70: Recipiente Filtro Regulador (Contaminado)	80
Figura 71: Recipiente Filtro Regulador	80
Figura 72: Recipiente Filtro Compressor	80
Figura 73: Inspeção e Limpeza do Posicionador	81
Figura 74: Filtros Reguladores	81
Figura 75: Junta de Vedação com Desgastes	82
Figura 76: Tomada de Nível Quebrada na Base do Tanque	83
Figura 77: Ferrugem e Corrosão na Tomada de Nível	83
Figura 78: Ajuste Valvula Posicionadora	84
Figura 79: Conexões CLP	84
Figura 80: Conexões Painele Eléctrico	84
Figura 81: Tabela Plano de Manutenção (pg1)	86
Figura 82: Tabela Plano de Manutenção (pg2)	87
Figura 83: Tabela Plano de Manutenção (pg3)	88
Figura 84: Tabela Plano de Manutenção (pg4)	89
Figura 85: Tabela Plano de Manutenção (pg5)	90

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

PCM - Planejamento e Controle de Manutenção
TMEF - Tempo Médio Entre Falhas (MTBF - *Mean Time Between Failures*)
TMPR - Tempo Médio para Reparo (MTTR - *Mean Time to Repair*)
TMPF - Tempo Médio Para Falha (MTTF - *Mean Time To Failure*)
DISP - Disponibilidade
CMPF - Custo de Manutenção por Faturamento
CMVR - Custo de Manutenção pelo Valor de Recuperação
CTMN - Custo Total da Manutenção
FTEP - Faturamento Total da Empresa
VLRP - Valor de Reposição
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção
IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo
CLP - Controlador Lógico Programável
IHM - Interface Homem Máquina
PT100 - Sensor de temperatura (termorresistência de platina)
DTP - Transmissor por Diferencial de Pressão
TP - Transmissor de Pressão
mca - Metro Coluna de Água
CV - Cavalo-vapor
A - Ampere
V - Volt
Hz - Hertz
W - Watt
kW - Quilowatt
bar - Unidade de pressão
psi - Libras por polegada quadrada
l/min - Litros por minuto
mm - Milímetro
°C - Graus Celsius
mA - Miliampere

Vcc - Volts de corrente contínua

mH₂O - Metro de coluna de água

kgf/cm² - Quilograma-força por centímetro quadrado

RF – Número de Eventos de Falha

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO – INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
2. CAPÍTULO – REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: TERMINOLOGIA	19
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	20
2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	21
2.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	22
2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA	23
2.3 INDICADORES DE MANUTENÇÃO	24
2.3.1 DIAGRAMA DE CRITICIDADE	26
2.1.4 AÇÕES DE MANUTENÇÃO	28
3. CAPÍTULO – PLANO DE MANUTENÇÃO.....	29
3.1 OPERAÇÃO.....	29
3.1.1 AQUECEDOR (RESISTENCIA DE IMERSÃO)	29
3.1.2 BOMBA DE ÁGUA.....	31
3.1.3 COMPRESSOR DE AR	34
3.1.4 TROCADOR DE CALOR	36
3.1.5 VÁLVULA SOLENOIDE	38
3.1.6 VALVULAS POSICIONADORAS	41
3.1.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMAVEL	43
3.1.8 INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....	46
3.1.9 INTERFACE HOMEM MAQUINA	48
3.1.10 TRANSMISSOR DE TEMPERATURA SMAR (PT100)	50
3.1.11 TRANSMISSOR POR DIFERENCIAL DE PRESSÃO PDSIII (VAZÃO) ..	52
3.1.12 TRANSMISSOR POR DIFERENCIAL DE PRESSÃO PDSIII (NÍVEL)	55
3.1.13 TRANSMISSOR POR PRESSÃO P DSIII	57
3.1.14 MANÔMETRO	59
3.1.15 TRANSDUTOR DE PRESSÃO TP-01	62
3.1.16 SENSOR DE NÍVEL HIDROSTÁTICO	64
3.1.17 VÁLVULA DE ALIVIO SEGURANÇA.....	66
3.1.18 TERMOSTATO DE SEGURANÇA	68

3.1.19 PRESSOSTATO DE SEGURANÇA	71
3.1.20 TANQUES	73
3.2 TABELAS GERAIS	76
3.2.1 ÍNDICES DE MANUTENÇÃO	76
3.2.1 ÍNDICES DE MANUTENÇÃO	77
4. CAPITULO – AÇÕES DE MANUTENÇÃO.....	78
5. CAPITULO – PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO.....	85
6. CAPITULO – CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS.....	93

1. CAPÍTULO – INTRODUÇÃO

A manutenção industrial desempenha um papel fundamental no bom funcionamento de plantas industriais, sendo responsável por garantir a disponibilidade, confiabilidade e eficiência dos equipamentos. Em um ambiente industrial, onde máquinas e sistemas operam sob condições muitas vezes extremas, a falta de um programa de manutenção adequado pode levar a falhas críticas, paradas não planejadas e, conseqüentemente, a prejuízos financeiros significativos. Segundo a NBR 5462 (1964) pode-se definir a manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Ao longo da história o âmbito industrial a manutenção passou por diversas mudanças desde seu início, inicialmente com a primeira revolução industrial em 1760 onde ocorre a substituição da manufatura pela maquinofatura assim surgindo as máquinas a vapor, logo identificou-se a necessidade de realizar reparos periódicos, porém sempre de forma “corretiva”, ou seja, eram reparadas apenas quando quebravam devido sua simplicidade e produção menos complexo. Visto que a necessidade de intervenção técnica era negligenciada pelos proprietários das primeiras fábricas, tendo em vista que os mesmos, juntamente com algum engenheiro, realizavam as intervenções técnicas quando necessário. Dito isso, um setor dedicado à manutenção de máquinas, equipamentos, dispositivos, ferramentas e instalações nem sempre existiu (CARDOSO E. G, 2022).

Nesse princípio de industrialização, fatores relativos à manutenção ainda eram marginalizados, porém com a segunda revolução industrial e o período de guerras, surgiu a necessidade das empresas em buscar uma maior disponibilidade das plantas de produção, maior vida útil dos equipamentos e procura constante por preços mais baixos, pois os custo de manutenção começou a se elevar muito em relação a outras despesas operacionais, dessa forma tentou-se atingir tais propósitos por meio de planejamentos, programações e ações sistematizadas, assim pode-se observar o surgimento inicial do PCM – Planejamento e Controle de Manutenção, e a formação de bancos de dados contendo históricos das manutenções efetuadas. Na terceira geração inicia a partir da década de 70 com o advento do conceito de manutenção preditiva, que é a manutenção efetuada quando, a partir de técnicas específicas, se detecta uma condição que indica a aproximação da falha. Geração essa que

apresenta exigências ainda maiores de disponibilidade, vida útil dos equipamentos, necessidade de grande confiabilidade do sistema, segurança riscos às pessoas e ao meio ambiente, qualidade dos produtos, eficiência no controle dos custos e, consequentemente aumento da produtividade (RODRIGUES M, 2010).

Com o passar dos anos a necessidade de trabalhadores dedicados única e exclusivamente às tarefas relativas à manutenção aumentou e continua aumentando até os dias atuais. Como exemplo de ampliação da importância da manutenção nas organizações, pode-se verificar o aumento de proporção de 1 em cada 17 funcionários em 1969 para 1 em cada 12 funcionários em 1981 na indústria estadunidense. (NIEBEL, 1994).

Conforme apontado por Mortelari et al. (2019), é fundamental que a gestão esteja em sintonia com a alta direção da empresa e com todos os departamentos ligados à gerência. No contexto da manutenção, essa gestão deve levar em conta as particularidades da organização, como sua visão, missão e valores. Ao planejar, o gestor precisa considerar as diversas áreas da administração, incluindo aspectos humanos e de pessoal, custos e finanças, e qualidade. Todos esses elementos devem ser integrados na gestão dos projetos de capital da empresa. A gestão da manutenção, por depender de fatores internos da companhia, deve ser desenvolvida selecionando as melhores ferramentas que se adequem ao modelo de gestão adotado, às metas estabelecidas para todos os ativos, e às técnicas e ao pessoal disponíveis. É crucial que todos esses fatores estejam alinhados para que a gestão possa efetivamente comparar e verificar se os ativos da empresa estão sendo utilizados e preservados de maneira eficiente e com custos reduzidos.

Nesse contexto surgem alguns conceitos a fim de evitar tais inconveniências são eles: manutenção corretiva, preventiva e preditiva e partir delas algumas outras ramificações de manutenção como por exemplo a corretiva planejada. Isso posto, o presente trabalho dedica-se a criação de um plano de manutenção para a planta didática DLB CP003-UA, afim de evitar imprevistos operacionais e financeiros.

1.1 OBJETIVOS

Conforme Pereira (2022), a manutenção em plantas industriais precisa ser meticulosamente planejada, a fim de se obter eficiência na operação combinado a uma relação custo/benefício bem ajustada. Nessa linha, este trabalho tem como finalidade investigar, descrever e realizar as principais formas de manutenções de sistemas (elétricos, pneumático e hidráulico) de plantas industriais, e, para isso, usará a planta didática do IFG/Campus Itumbiara (Figura 1), construindo os principais índices de manutenção e estabelecendo rotinas para buscar a melhoria continua desses índices.

Figura 1: Planta Didática DLB CP003-UA



Fonte: Autor

2. CAPITULO – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: TERMINOLOGIA

O termo manutenção significa “ter à mão” os recursos necessários para efetuar reparos. Porém uma das definições mais completas é a apresentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Segundo a NBR 5462 (1994) que define a manutenção como sendo uma combinação de ações técnicas e administrativas. Dentro da “função manutenção” existem vários termos utilizados para designação das atividades desenvolvidas por uma equipe de manutenção, são elas definidas pelas seguintes nomenclaturas:

Função Requerida: é uma função ou combinação de funções, que são consideradas necessárias para promover um dado serviço.

Defeito: é qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos. O defeito quando não eliminado, pode se desenvolver e se transformar em uma falha.

Falha: término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. Depois da falha o item tem uma pane (falha é um evento diferente de pane).

Disponibilidade: Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

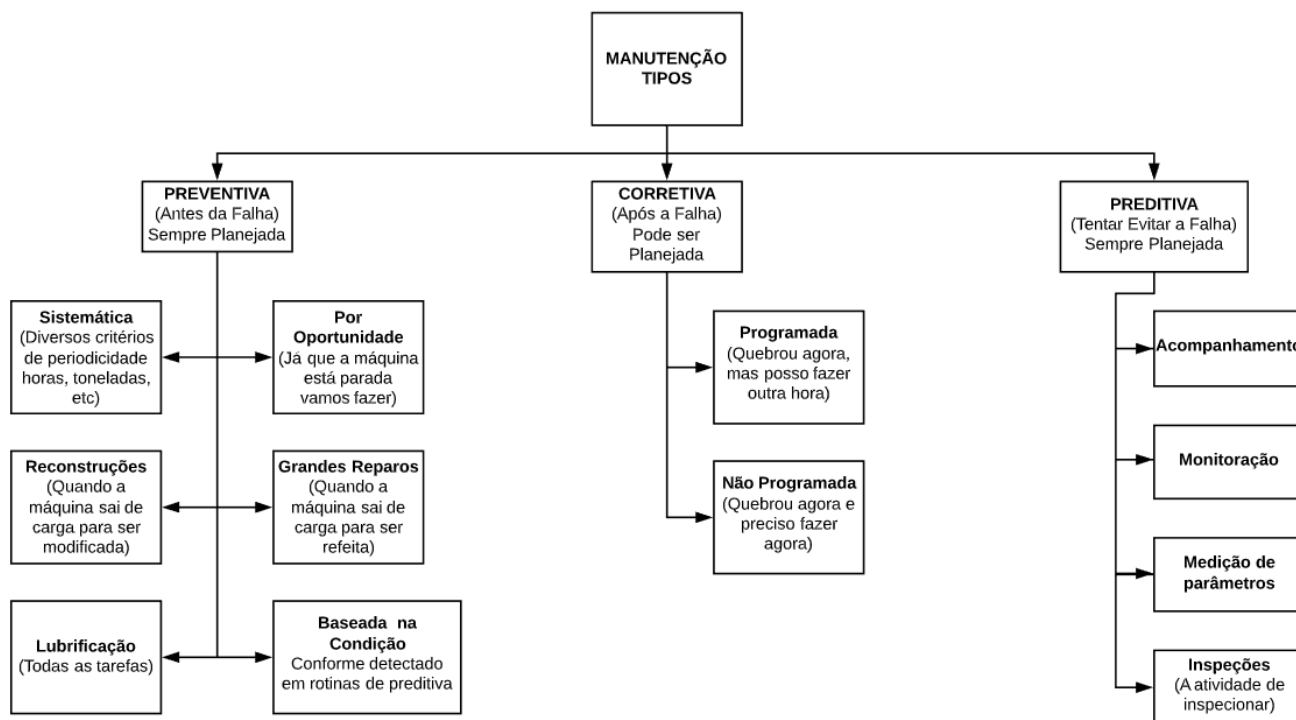
Confiabilidade: capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas durante um dado intervalo de tempo. Determinar que uma máquina é mais confiável que a outra significa que a mesma apresenta um menor número de falhas dentro de um período determinado de tempo.

Mantenabilidade: capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos. Alguns fatores influenciam diretamente na manutenibilidade como o *layout* da planta industrial.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Segundo Kardec e Nascif (2019) a maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes. Em qualquer sistema ou equipamento, a manutenção desempenha um papel crucial para garantir seu bom funcionamento, prolongar sua vida útil e assegurar a eficiência operacional. Longe de ser uma atividade única, a manutenção se desdobra em diferentes abordagens, cada qual com suas características, objetivos e aplicações específicas. A escolha do tipo de manutenção mais adequado depende de uma série de fatores, como a criticidade do equipamento, os custos envolvidos, os riscos de falha e a disponibilidade de recursos. Compreender as particularidades de cada tipo de manutenção é essencial para implementar estratégias eficazes que otimizem o desempenho, minimizem paradas inesperadas e contribuam para a sustentabilidade e competitividade das operações. Conforme a Figura 2 e possível observar seus tipos e como se dividem esses tipos de manutenção.

Figura 2: Organograma Simplificado dos Tipos de Manutenção



Fonte: Adaptado de MERLIM (2019).

2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Conforme a NBR 5462 (1994), a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. O seja é uma manutenção de resposta a uma falha já ocorrida. Diferente de outras abordagens que buscam prevenir problemas, ela atua quando um equipamento ou sistema já apresentou algum tipo de anomalia, quebra ou mau funcionamento. Isso significa que a intervenção acontece somente após a identificação de um defeito, visando restaurar a condição operacional do item.

Em muitos casos, a manutenção corretiva é realizada de forma não planejada, ou seja, de maneira emergencial, Kardec e Nascif (2019) afirma que este tipo de intervenção pode gerar custos elevados, como perdas na produção, diminuição da qualidade do produto e aumento de despesas indiretas de manutenção. Além disso, falhas inesperadas podem causar danos significativos aos equipamentos. Em indústrias com processos contínuos, como as de petróleo, petroquímica e cimento, onde há alta pressão, temperatura e vazão, a interrupção súbita para reparos pode comprometer a qualidade de outros equipamentos que estavam funcionando corretamente, podendo levar a colapsos ou a uma redução na produção. Um exemplo comum é o surgimento de vibrações em máquinas que operavam sem problemas anteriormente.

Embora muitas vezes associada a situações de urgência, a manutenção corretiva também pode ser planejada, ocorrendo quando a falha não impede o uso imediato e há tempo para agendar a intervenção. Conforme Viana (2020) esse tipo de manutenção ocorre quando se tem conhecimento prévio de uma falha ou problema, seja por meio de inspeções, sistemas de monitoramento preditivos, ou pela manifestação clara do defeito. Embora o ideal fosse resolver o problema assim que ele surge, na prática da manutenção, isso nem sempre é viável. Existem duas razões principais para essa impossibilidade: primeiro, quando a falha resulta em um colapso de grandes proporções ou de difícil reparo; segundo a presença de sistemas ou equipamentos sobressalentes na planta, que eliminam a dependência do componente danificado, permitindo que a intervenção seja agendada para uma data futura, o que facilita o planejamento das atividades de manutenção. Nesse contexto, a palavra "planejada" indica a organização prévia das ações de manutenção para solucionar um problema que surgiu de forma corretiva.

2.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

De acordo Kardec e Nascif (2010) a manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. A manutenção preventiva é imperativa para determinados sistemas ou componentes, pois o fator segurança se sobrepõe aos demais. Visto que nem sempre os fabricantes fornecem dados para a adoção nos planos de manutenção preventiva, além de condições operacionais e ambientais influírem de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação operando em condições similares.

Para a NBR 5462 (1994) é a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Rodrigues (2010) estabelece que a manutenção preventiva é a intervenção realizada de forma a evitar a falha ou queda no desempenho do equipamento, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo, de forma que esse tempo não precisa necessariamente ser cronológico conforme o exemplo da Tabela 1.

Tabela 1: Exemplos de Tempo na manutenção Preventiva

Atividade Preventiva	“Tempo” Observado
Lubrificação de mancais.	Horas de Trabalho
Troca de óleo de automóvel.	Quilômetros rodados
Afiação de facas de guilhotina	Peças cortada
Troca de correia transportadora	Toneladas transportadas

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2010)

Ainda segundo Rodrigues (2010) a gerência da manutenção preventiva os reparos e recondiçionamentos da máquina são programados baseados nas estatísticas na qual a própria empresa com base no histórico de manutenção dos equipamentos ou por meio de informações fornecidas pelos fabricantes, sendo a primeira mais precisa por levar em consideração o sistema de produção da empresa. Em termos de custo a manutenção preventiva é a mais barata, porém quando não

programada corretamente, pode introduzir alguns defeitos não existentes no equipamento, seja de falhas humanas, peças sobressalentes, contaminação e danos, durante partida e paradas e falhas dos procedimentos de manutenção.

2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A análise preditiva, está relacionada com a previsão de um evento, também pode ser denominada preventiva baseada na condição, estado ou controlada. De acordo com a NBR 5462 (1994) tal intervenção permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Para Kardec e Nascif (2010) é a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo o acompanhamento obedece a uma sistemática, onde através de técnicas preditivas é feito o monitoramento da condição e a ação de correção, quando necessária, é realizada através de uma manutenção corretiva planejada. Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível, privilegiando a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

De acordo com Rodrigues (2010) o monitoramento desses equipamentos e sistemas pode ser de três formas: subjetiva, objetivo e contínuo. A forma subjetiva, tida como a mais elementar, utiliza os sentidos humanos como referencial exemplo identificar através ruídos de rolamentos, polias, redutores; ou através do aquecimento de partes de uma máquina. Na objetiva utiliza-se equipamentos e instrumentos específicos de monitoramento como termovisores, analisadores de vibração ou medidores de ultrassom. E por fim, a forma contínua também se baseia em equipamentos, porém como o próprio nome diz, de forma contínua, sistemas de análise, registro de imagens térmicas de um forno. O autor ainda afirma que a manutenção preditiva é um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto final e o lucro, pois é uma filosofia de trabalho gerencial que usa condição operacional real do equipamento ou sistema para otimizar a operação total da planta industrial.

2.3 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Na década de 1980 IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, sediada no Rio de Janeiro, tomou as primeiras iniciativas para a elaboração de um documento que apresentasse, sob a forma de índices, a situação da manutenção no Brasil. Este primeiro documento publicado e divulgado foi apresentado em 1983 no 3º Congresso Ibero-Americano de Manutenção. Nesse mesmo congresso surgiu a necessidade da criação de uma associação nacional de manutenção para defender os interesses dos profissionais da área, fato que resultou na criação do ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção em 17 de outubro de 1984, que se encarregou de retomar a pesquisa sobre a situação da manutenção no Brasil para elaboração do documento de manutenção nacional, ciente da importância para a comunidade de manutenção. (ABRAMAN, 2022)

A manutenção possui alguns indicadores denominados índices classe mundial, pois tem uma mesma expressão para o cálculo em diversos países, sendo seis, onde quatro são voltados para gestão de equipamentos e dois em gestão de custos. Para índices de gestão de falhas são utilizadas as seguintes análises em conjunto com um cálculo realizado para defini-las:

TMEF - Tempo Médio Entre Falhas (MTBF – *Mean Time Between Failures*), é a relação entre o tempo de operação e o número total de falhas detectadas em um determinado período estabelecido, índice voltado itens reparáveis, pode ser obtido também calculando o inverso da taxa de falha de determinado item, conforme abaixo:

$$TMEF = \frac{TempOp}{n^o Falhas} \quad (1)$$

TMPR – Tempo médio para reparo (MTTR – *Mean Time to Repair*), é uma média aritmética dos tempos gastos nos reparos de um item, equipamento, lote de máquinas ou instalações, obtido pela relação entre o tempo total de intervenção corretiva, incluindo o tempo de reparos e os tempos de espera que retardam a colocação do equipamento novamente em operação, e o número de falhas detectadas no período observado. Indicador muito útil quando o tempo de reparo é significativo e pode ser melhorado por meio da manutenibilidade do equipamento ou sistema, capacitação da técnica ou do técnico em manutenção.

$$TMPR = \frac{TempOp}{n^{\circ} Reparos} \quad (2)$$

TMPF – Tempo Médio Para Falha (MTTF – *Mean Time To Failure*), índice para itens que são substituídos após a ocorrência de uma falha, denominados itens não reparáveis, sendo a média aritmética dos tempos de entrada em funcionamento de uma peça, máquina ou equipamento. Ele é dado pela relação entre o tempo total de operação de um conjunto de itens não reparáveis e o número total de falhas detectadas nesses itens em um determinado período observado.

$$TMPF = \frac{\sum ItemOp}{n^{\circ} Falhas} \quad (3)$$

Disponibilidade – DISP - (*Availability*), representa o percentual do tempo em que um determinado item ficou à disposição do órgão de operação para desempenhar sua atividade. Dado pelo TMEF dividido pelo TMEF somado ao TMPR.

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100 \quad (4)$$

Já os índices voltados para custo é o indicador que as empresas mais acompanham, tendo um alto grau de importância seguindo a ABRAMAN, dentre eles pode-se identificar:

CMPF - Custo de manutenção por faturamento, índice que utiliza valores do setor de contabilidade da empresa determinado pela relação entre o CTMN (Custo Total da Manutenção) e o FTEP (Faturamento Total da Empresa) no período determinado.

$$CMPF = \frac{CTMN}{FTEP} \times 100 \quad (5)$$

CMVR - Custo de Manutenção pelo Valor de Recuperação, determinado pela relação entre o CTMN (Custo Total da Manutenção) de um determinado equipamento, e o VLRP (Valor de Reposição) ou valor de compra desse novo equipamento. Indicador destinado especialmente aos equipamentos estratégicos e fundamentais que afetam o faturamento, a qualidade dos produtos ou serviço, a segurança e o meio

ambiente. Para um bom controle de custos o CMVR deve ser composto por 5 parcelas são elas: pessoal, material, terceiros, depreciação e perda/redução de faturamento.

$$CMVR = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \times 100 \quad (6)$$

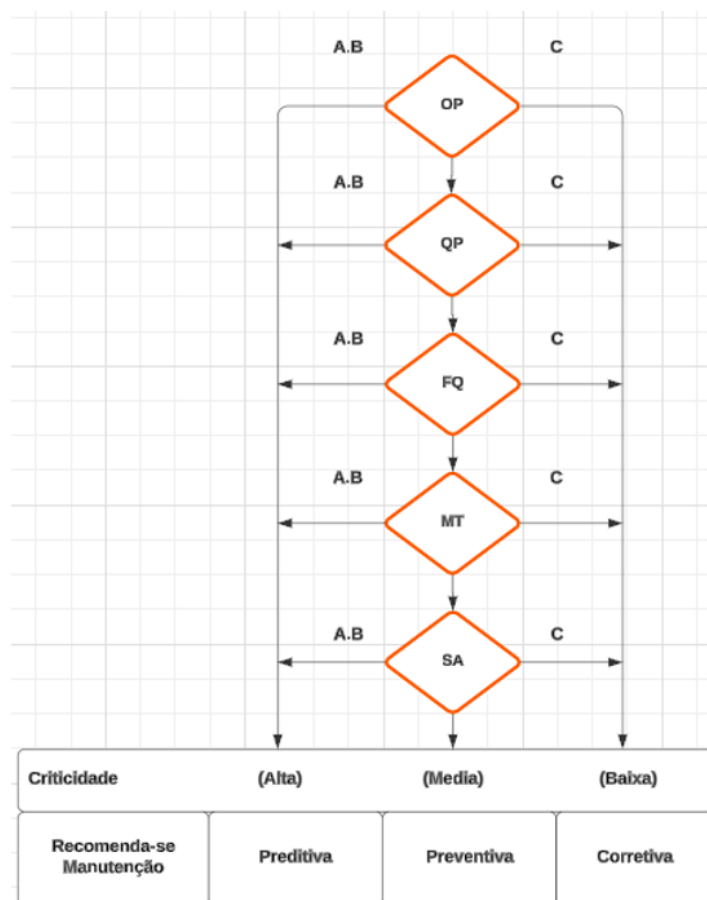
CMEF - Custo de Manutenção por Eventos de Falha é um indicador de desempenho utilizado para mensurar o custo médio de cada falha que ocorre em um determinado ativo. Ele é determinado pela relação direta entre o Custo Total da Manutenção (CTMN) e o número de eventos de falhas (RF) ocorridos em um período específico.

$$CMEF = \frac{CTMN}{RF} \quad (7)$$

2.3.1 DIAGRAMA DE CRITICIDADE

Além de índices, também foi desenvolvido quadros de criticidade afim de se ter uma estratégia de priorização na gestão de manutenção de equipamentos, de forma a definir quais devem receber o tipo correto de manutenção de acordo com sua condição e também avaliar o impacto na planta que vem causar tal parada. O diagrama se divide em duas partes principais: um fluxograma de decisão e uma tabela detalhada dos impactos conforme a Figura 2 e 3. O fluxograma demonstra uma sequência hierárquica de avaliação, começando por critérios que, presumivelmente, possuem maior impacto, onde é apresentado um critério de avaliação. A tabela detalha os impactos de uma parada repentina para cada critério e nível de criticidade.

Figura 3: Exemplo Fluxograma de Criticidade



Fonte: Acervo do Autor

Figura 4: Exemplo Tabela de Criticidade

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
FV1 e FV2		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Muito Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Parcialmente a Produção	Afeta Grande Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Grande Parte do Processo	Cessa Grande Parte do Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo de 3 anos	Intervalo de 1 Ano e 6 meses	Intervalo de 1 Ano
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são suportáveis	O tempo e/ou custo de reparo são baixos

Fonte: Acervo do Autor

Para o desenvolvimento do diagrama foi utilizado alguns aspectos de criticidade são eles apresentados na Figura 3: Segurança e Meio Ambiente (SA), Qualidade e Produtividade (QP), Oportunidade (OP), Frequência de Quebra (FQ) e Manutenibilidade (MT). E partir do grau de criticidade observado no fluxograma de criticidade (Figura 2) pode-se determinar o que pode vir provocar na planta e na área na qual ela está disposta.

2.1.4 AÇÕES DE MANUTENÇÃO

Investigação das ações de manutenção dos diversos sistemas da planta afim de realizar a manutenção de forma correta, organizada, segura e mantendo a integridade dos equipamentos e processos, dessa forma identificando falhas potenciais, causas raízes e ações corretivas para prevenir paradas não programadas e otimizar o desempenho. Aplicou-se também tais técnicas nos seguintes sistemas da planta: Sistemas Hidráulicos, Sistemas Pneumáticos, Sistemas Elétricos, Instrumentos de Campo, Comando Logico da Planta e o Quadro de Comando Elétrico.

3. CAPITULO – PLANO DE MANUTENÇÃO

O desenvolvimento de um plano de manutenção para a Planta Didática DLB CP003-UA exigiu uma abordagem sistemática, considerando sua natureza educacional, o relativo baixo tempo de operação e a ausência de um histórico de falhas. Para garantir confiabilidade, disponibilidade e custo-efetividade, o plano foi estruturado em etapas, incluindo coleta e análise de dados (mesmo que limitados, devido à pouca operação), especificações técnicas dos equipamentos fornecidas pelo fabricante De Lorenzo e também buscando os fabricantes dos próprios equipamentos, registros iniciais de operação horas de funcionamento e primeiras falhas; estimativas baseadas em similaridades (comparação com equipamentos análogos), definição das estratégias de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva), estabelecimento de indicadores de desempenho (TMEF, TMPR, disponibilidade), análise de criticidade para priorização de componentes e implementação de ações de manutenção.

Dessa forma segue os dados coletados de todos os sistemas da planta didática levando em consideração a análise feita a partir de um ano de uso do equipamento no qual o total de horas de uso foi de cerca de 8766h.

3.1 OPERAÇÃO

3.1.1 AQUECEDOR (RESISTENCIA DE IMERSÃO)

Consiste em uma resistência trifásica (Figura 5) com alimentação de 220V, gerando uma potência nominal de 3kW. Utilizado dentro do sistema da CP003-UA, para aquecimento da água no tanque inferior, realizando assim uma análise da aplicação da temperatura. A Tabela 2 explicita alguns tipos de falha que pode ocorrer em um aquecedor.

Figura 5: Aquecedor



Fonte: Adaptado de De Lorenzo Brasil (2021)

Tabela 2: Tipos de Falha Aquecedor

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Troca da Resistencia	4 horas
Terminais Oxidados	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

A partir da identificação dos tipos de falhas, foi possível estimar o tempo médio necessário para reparo de cada uma. Com isso, os principais índices de desempenho e custo foram calculados, considerando uma operação anual de 8766 horas conforme a Tabela 3.

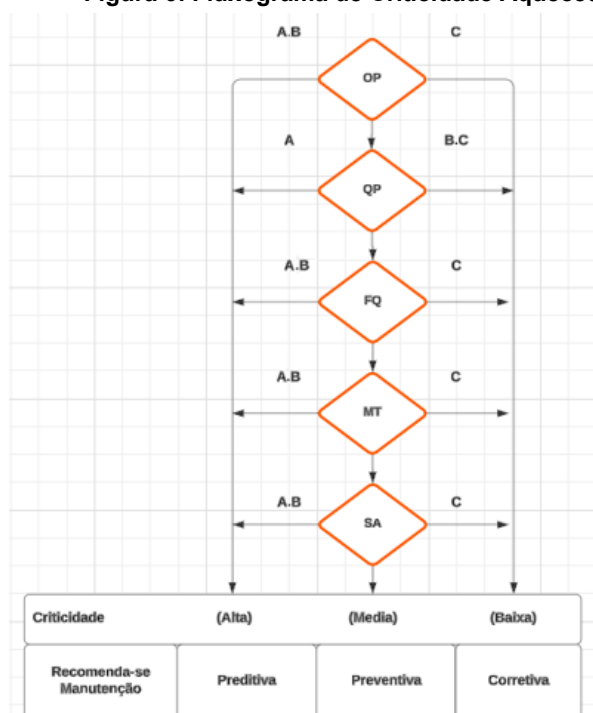
Tabela 3: Índices Aquecedor

Aquecedor	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Troca da Resistencia	8766	4,0	99,9544%	R\$270,25
Terminais Oxidados	8766	1,0	99,9886%	R\$100,00

Fonte: Acervo do Autor

Com base nos dados apresentados, desenvolveu-se a análise de criticidade do equipamento. O fluxograma auxilia na determinação do grau de prioridade das intervenções de manutenção, enquanto a tabela de criticidade aponta o impacto potencial de cada falha no desempenho da planta. Ambas as ferramentas são representadas nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Fluxograma de Criticidade Aquecedor



Fonte: Acervo do Autor

Figura 7: Tabela de Criticidade Aquecedor

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Aquecedor (Resistencia de Imersão)		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco de Queimaduras
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Afeta de forma Irrelevante a produção
OP	Oportunidade	Cessa Parcialmente Parte do Processo	Cessa Pequena Parte do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 2 Anos	Intervalo 6 Mês (Por Avaliação)
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são suportáveis	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são baixos

Fonte: Acervo do Autor

3.1.2 BOMBA DE ÁGUA

Uma bomba de água centrífuga (Figura 8) com potência nominal de 1,5 cv, 2 polos, 1.1/2" de Sucção e 1" de Recalque, sendo está fechada no esquema duplo triângulo (220V), com uma corrente nominal de 2.30A em tal fechamento, tendo um fator de potência de 0.86 e rendimento nominal de 84.5%, existindo outras possibilidades de fechamento encontradas na placa do motor. A Tabela 4 demonstra alguns tipos de falhas da Bomba de Água e suas estimativas de tempo de reparo.

Figura 8: Bomba de Água



Fonte: Adaptado de De Lorenzo Brasil (2021)

Tabela 4: Tipos de Falha Bomba de Água

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Rolamentos com Desgaste	8 horas
Obstrução hidráulica	6 horas
Queima (Rebobinamento)	24 horas
Inspeção Geral da Bomba	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

A partir dos dados obtidos foi desenvolvido a Tabela 5 na qual demonstra os índices de manutenção e de custo da bomba onde o índice de custo foi calculado conforme a hora de um técnico de automação e o valor estimado do reparo na bomba de água.

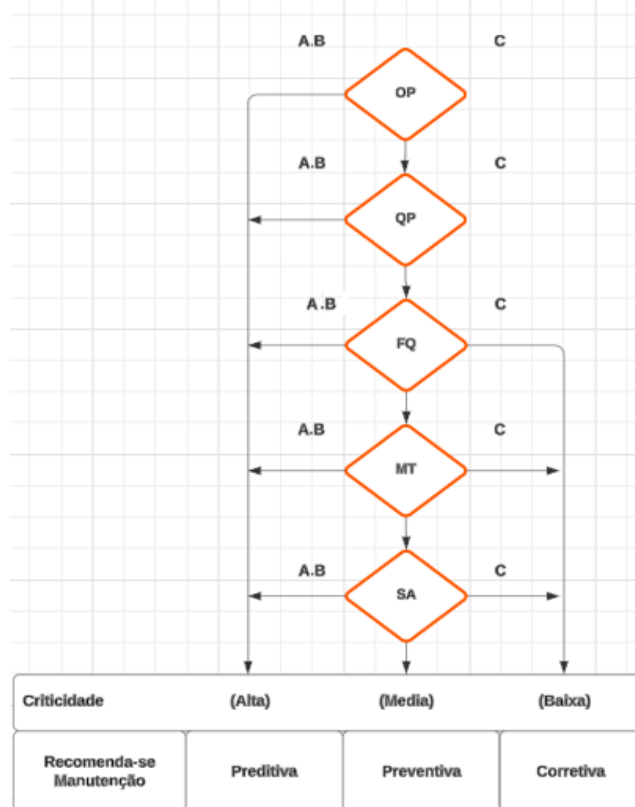
Tabela 5: Índices Bomba de Água

Bomba de Água	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Rolamentos com Desgaste	8766	8,0	99,9088%	R\$100,00
Obstrução hidráulica	8766	6,0	99,9316%	R\$150,00
Queima (Rebobinamento)	8766	24,0	99,7270%	R\$800,00
Inspeção Geral da Bomba	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00

Fonte: Acervo do Autor

Para a priorização das ações, a Figura 9 e 10 apresenta a sequência de análise de criticidade aplicada à bomba, indicando o grau de urgência e o tipo de manutenção recomendada.

Figura 9: Fluxograma de Criticidade Bomba da Água



Fonte: Acervo do Autor

Figura 10: Tabela de Criticidade Bomba da Água

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Bomba de Água		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Grande Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Todo Processo	Cessa Grande Parte do Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 2 Anos	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

3.1.3 COMPRESSOR DE AR

Um compressor modelo TopSilence de 2 pistões (Figura 11), com potência nominal de 1 HP, sendo sua corrente nominal de consumo 4,8A em 220v, podendo alcançar uma pressão máxima de 8 bar/120 psi, disponibilizando um reservatório de Ar de 25 litros, com uma vazão teórica de 120 l/min, sendo acoplado ao compressor, dispositivos de segurança e qualidade: válvula de segurança, ventoinha de refrigeração do motor, filtro de 5 micron, filtro de 0,01 micron e filtro de entrada de ar, manômetro do reservatório e regulador de pressão; Sendo o óleo lubrificante do conjunto mecânico: LS-04 (Definido por Fabricante). Conforme a Tabela 6 com tipos de falhas que o compressor pode vir apresentar.

Figura 11: Compressor de Ar



Fonte: Adaptado de De Lorenzo Brasil (2021)

Tabela 6: Tipos de Falha Compressor

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Verificar nível do óleo lubrificante (LS-04) / Completar	30 minutos
Drenar água do reservatório de ar / filtro de linha	1 hora
Troca dos Kits retenção, filtro de ar e vedação	6 horas
Inspeção geral Compressor	2 horas
Vazamento no reservatório (solda/vedação)	8 horas
Substituição ou calibração de válvula de segurança	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

Com base nessas falhas, foram definidos os índices de manutenção e custos operacionais estimados. Esses valores fornecem suporte para a tomada de decisão em relação à periodicidade e tipo de manutenção a ser adotada para o compressor.

Tabela 7: Índices Compressor

Compressor de Ar	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Verificar nível do óleo lubrificante (LS-04) / Completar	8766	0,5	99,9943%	R\$372,50
Drenar água do reservatório de ar /filtro de linha	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00
Troca dos Kits retenção, filtro de ar e vedação	8766	6,0	99,9886%	R\$1010,00
Inspeção geral Compressor	8766	2,0	99,9772%	R\$35,00
Substituição ou calibração de válvula de segurança	8766	1,0	99,9886%	R\$215,00
Vazamento no reservatório (solda/vedação)	8766	8,0	99,9316%	R\$280,00

Fonte: Acervo do Autor

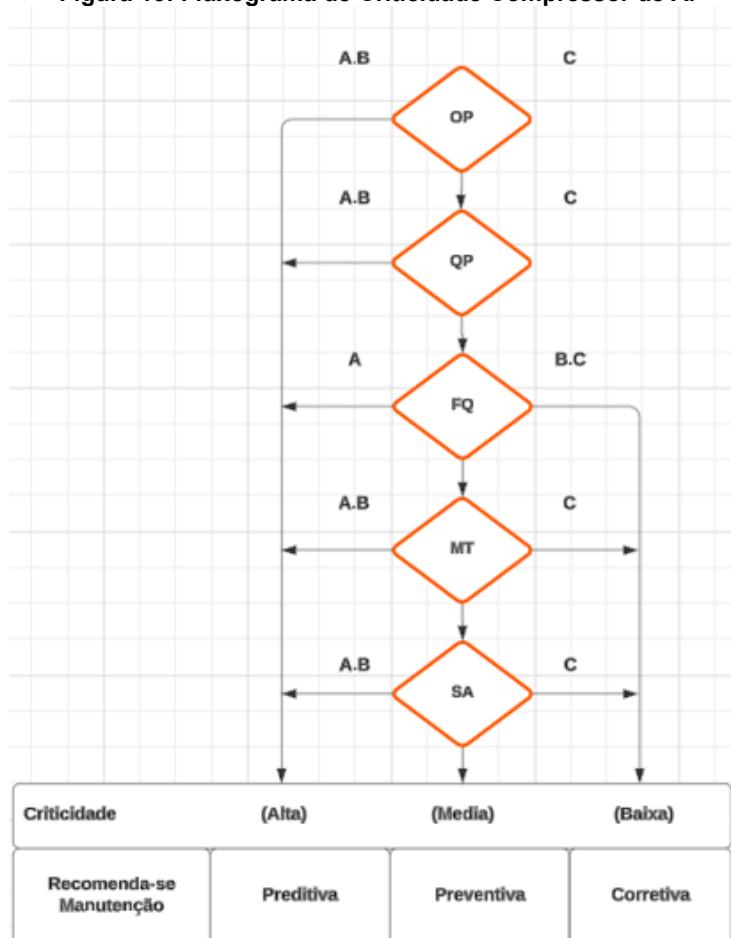
Para a análise de priorização de alguns critérios sendo eles, foi desenvolvido um digrama de criticidade do compressor, dando foco aos critérios de oportunidade e qualidade e produtividade, devido a suas criticidades conforme a Figura 12 e 13.

Figura 12: Tabela de Criticidade Compressor de Ar

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Compressor de Ar		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Muito Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Grande Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Todo Processo	Cessa Grande Parte do Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 2 Anos	Intervalo de 3 Mês (Por Avaliação)
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são baixos

Fonte: Acervo do Autor

Figura 13: Fluxograma de Criticidade Compressor de Ar



Fonte: Acervo do Autor

3.1.4 TROCADOR DE CALOR

Um Trocador de Calor (Figura 14) de 230V, consumindo uma corrente nominal de 0,38A a uma frequência de 60Hz, gerando uma potência ativa de 16W. Utilizado no sistema da CP003-UA para tal aplicação de resfriamento da água pós aquecimento. O radiador é responsável pela dissipação do calor gerado no processo. Embora sua função seja simples, falhas relacionadas à ventilação e acúmulo de sujeira podem comprometer o resfriamento adequado do sistema. A Tabela 8 apresenta possíveis falhas e seus tempos de reparo.

Figura 14: Trocador de Calor



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 8: Tipos de falha Trocador de Calor

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Limpeza	30 minutos
Troca do Ventilador	1 hora
Inspeção Elétrica e Visual	2 horas

Fonte: Acervo do Autor

Após a identificação das falhas mais comuns no radiador, como acúmulo de sujeira, falhas no ventilador e necessidade de inspeções periódicas, foram determinados os tempos médios para cada tipo de intervenção e os respectivos custos associados. Essas informações permitiram calcular os principais índices de desempenho e disponibilidade do equipamento, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9: Índices Trocador de Calor

Trocador de Calor	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Limpeza	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Troca do Ventilador	8766	1,0	99,9886%	R\$150,00
Inspeção Visual e Elétrica	8766	2,0	99,9772%	R\$70,00

Fonte: Acervo do Autor

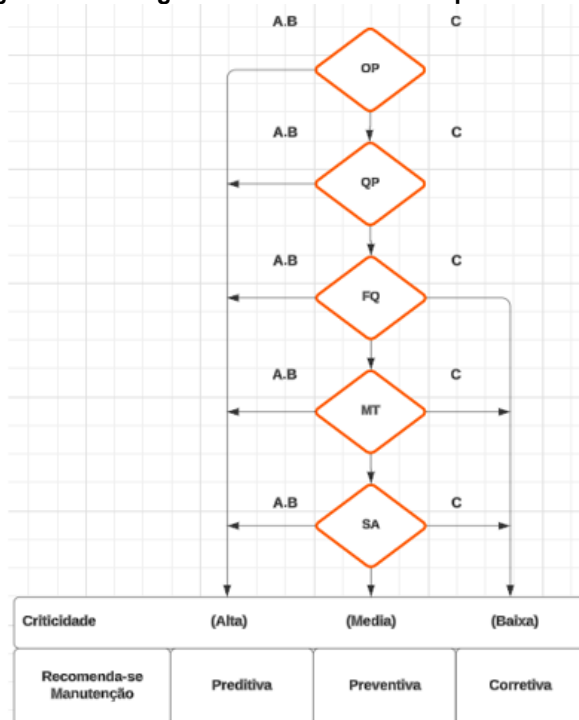
A seguir, a análise de criticidade do radiador é representada por meio da Figura 15 e 16, permitindo uma avaliação mais clara dos impactos operacionais que possíveis falhas nesse componente podem causar, especialmente no que diz respeito ao resfriamento da água e à estabilidade térmica da planta.

Figura 15: Tabela de Criticidade Compressor de Ar

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Radiador		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Muito Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Grande Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Todo o Processo	Cessa Grande Parte do Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são altos	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são baixos

Fonte: Acervo do Autor

Figura 16: Fluxograma de Criticidade Compressor de Ar



Fonte: Acervo do Autor

3.1.5 VÁLVULA SOLENOIDE

A planta conta com uma válvula solenoide (Figura 17) para alimentação de água com tensão de alimentação de 220V, *range* de pressão de trabalho de 0 a 8 bar, com seu corpo de latão forjado, sendo o tubo guia e os núcleos (fixo/móvel) de Aço

inoxidável, 2 vias normalmente fechada. A Tabela 10 apresenta tipos de falhas da válvula solenoide.

Figura 17: Válvula Solenoide



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 10: Tipos de Falha Válvula Solenoide

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Limpeza	30 minutos
Substituição do kit de vedação	3 horas
Substituição da bobina do solenoide	2 horas

Fonte: Acervo do Autor

Com base nos possíveis modos de falha identificados, foram estimados os tempos médios para reparo e os respectivos custos associados. Esses dados são fundamentais para a avaliação da disponibilidade e do impacto econômico da manutenção, conforme a Tabela 11 apresentada a seguir.

Tabela 11: Índices Válvula Solenoide

Válvula Solenoide	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Limpeza	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Substituição do kit de vedação	8766	3,0	99,9658%	R\$255,00
Substituição da bobina do solenoide	8766	2,0	99,9772%	R\$190,00

Fonte: Acervo do Autor

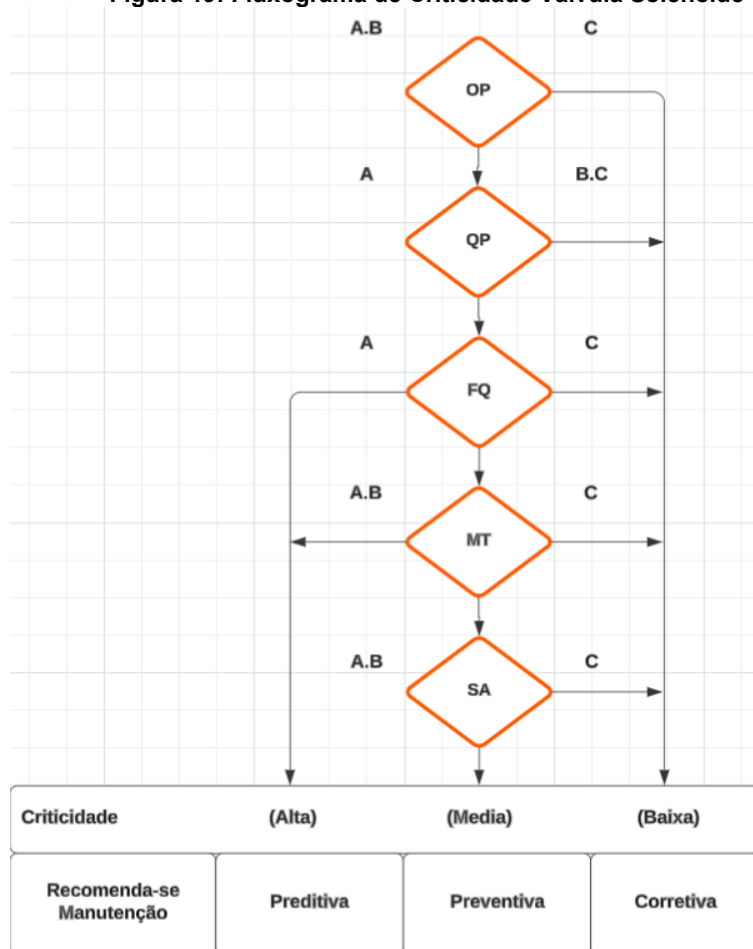
A seguir, tem-se o fluxograma e a tabela de criticidade da válvula solenoide (Figura 18 e 19), que permitem avaliar a prioridade de manutenção de acordo com a severidade dos impactos na planta.

Figura 18: Tabela de Criticidade Válvula Solenoide
A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA

Válvula Solenoide		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Muito Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Pequena parte do Processo	Afeta de Forma Irrelevante o Processo	Afeta de Forma Irrelevante o Processo
OP	Oportunidade	Não Cessa o Processo	Não Cessa o Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo de 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são baixos

Fonte: Acervo do Autor

Figura 19: Fluxograma de Criticidade Válvula Solenoide



Fonte: Acervo do Autor

3.1.6 VALVULAS POSICIONADORAS

Duas válvulas de controle (Figura 20), posicionadoras, com acionamento por entrada analógica sinal de 4 a 20mA, tendo em seu conjunto, dois manômetros referente a pressão de trabalho sendo a mesma de (2,4 bar), um filtro na entrada de alimentação de ar, juntamente com um regulador/manômetro de pressão de alimentação, acoplado a válvula há também um *by-pass* de acesso externo possibilitando o controle da válvula manualmente, sendo disponibilizado um sinal de saída de 0 a 30 PSIG. A Tabela 12 apresenta os tipos de falhas recorrentes e os tempos estimados de reparo.

Figura 20: Válvula Posicionadora



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 12: Tipos de Falha Válvula Posicionadoras

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Limpeza Filtros	30 minutos
Limpeza Posicionador	2 horas
Troca Filtros	3 horas
Troca de Vedação Posicionador	2 horas
Ajustes de Zero	1 hora
Inspeção Visual e Elétrica	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

Com base nas informações apresentadas na tabela anterior, foram calculados os principais índices de manutenção da válvula posicionadora. Esses dados permitem avaliar a disponibilidade do equipamento e o impacto financeiro de cada tipo de falha, conforme mostrado a Tabela 13 a seguir.

Tabela 13: Índices Válvula Posicionadoras

FV1 e Fv2	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Limpeza Filtros	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Limpeza Posicionador	8766	2,0	99,9772%	R\$35,00
Troca Filtros	8766	3,0	99,9658%	R\$250,00
Troca de Vedação do Posicionador	8766	2,0	99,9772%	R\$250,00
Ajustes de Zero	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00
Inspeção Visual e Elétrica	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00

Fonte: Acervo do Autor

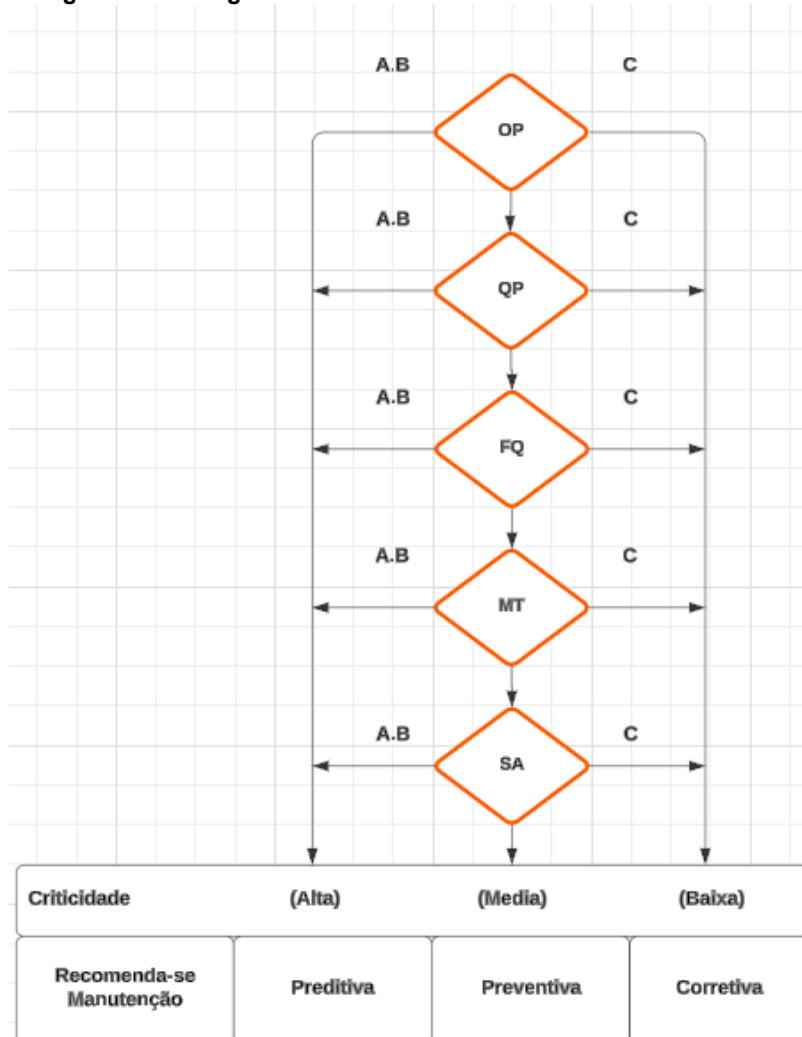
A partir dos resultados obtidos, foi realizada a análise de criticidade da válvula solenoide. As Figuras 21 e 22 ilustram, respectivamente, o fluxograma de decisão e a tabela de criticidade, que auxiliam na priorização de manutenção.

Figura 21: Tabela de Criticidade Válvula Posicionadora

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
FV1 e FV2		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimônio Variação	Risco Muito Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Parcialmente a Produção	Afeta Grande Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Grande Parte do Processo	Cessa Grande Parte do Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo de 3 anos	Intervalo de 1 Ano e 6 meses	Intervalo de 1 Ano
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são suportáveis	O tempo e/ou custo de reparo são baixos

Fonte: Acervo do Autor

Figura 22: Fluxograma de Criticidade Válvula Posicionadora



Fonte: Acervo do Autor

3.1.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Um controlador lógico programável (Figura 23) Siemens, modelo S7 1200 CPU 1214C DC/DC/DC (6ES721-1AG40- 0XB0), 14/10 *Inputs/Outputs*, uma interface Profinet integrada (RJ45), disponível para programação ou comunicação, realizando todo o processo de controle disponível na CP003-UA. A Tabela 14, são apresentadas as falhas identificadas e seus respectivos tempos de intervenção.

Figura 23: CLP



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 14: Tipos de falha CLP

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Verificação dos Conectores	30 minutos
Limpeza Paineis	30 minutos
Teste de Conexões	3 horas
Rompimento de Cabo	5 horas
Substituição de Módulos	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

Considerando os diferentes tipos de falha que podem acometer o CLP Siemens S7-1200, foram estimados os tempos de reparo e custos médios associados. Os dados obtidos são organizados na Tabela 15, com base em uma operação contínua de 8766 horas.

Tabela 15: Índices CLP

CLP	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Verificação dos Conectores	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Limpeza Paineis	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Teste de Conexões	8766	3,0	99,9658%	R\$105,00
Rompimento de Cabo	8766	5,0	99,9430%	R\$175,00
Substituição de Módulos	8766	1,0	99,9886%	R\$1110,00

Fonte: Acervo do Autor

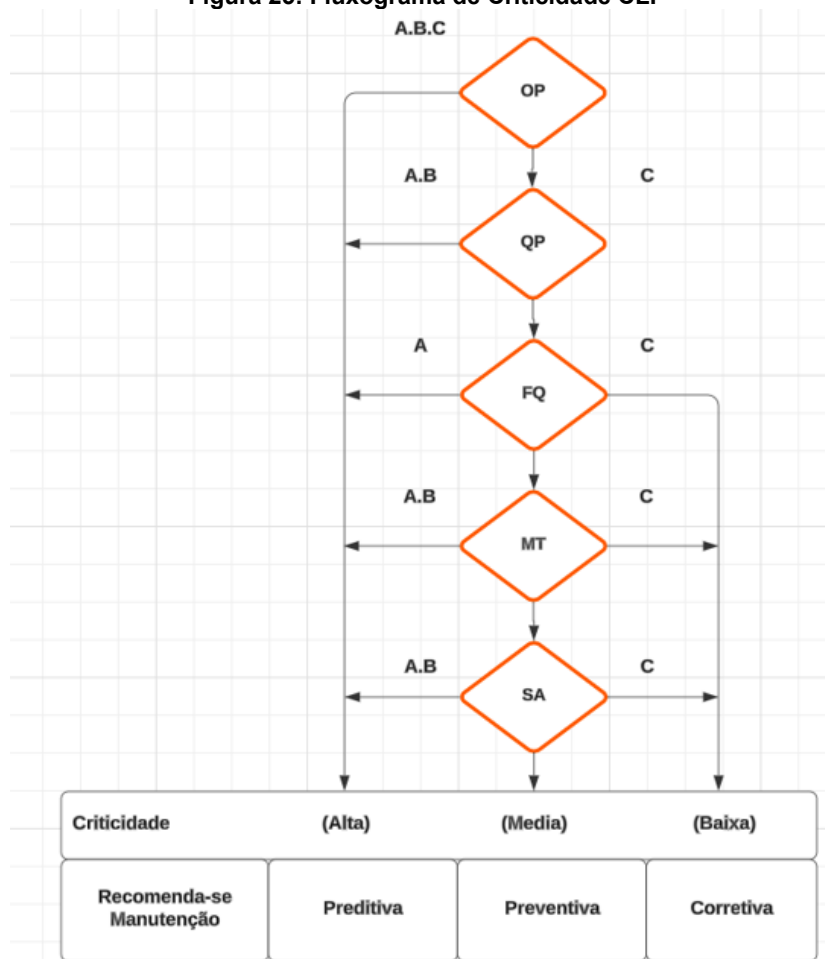
A análise de criticidade, apresentada por meio das Figuras 24 e 25 seguir, contribui para a priorização das ações corretivas e preventivas nesse componente central do sistema de automação.

Figura 24: Tabela de Criticidade CLP

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
CLP		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Grande Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Todo Processo	Cessa Grande Parte do Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 2 Anos	Intervalo maior que 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 25: Fluxograma de Criticidade CLP



Fonte: Acervo do Autor

3.1.8 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Um inversor de frequência WEG CFW 500 modelo: B07P3B2DB20 (Figura 26), tendo números de fases de entrada monofásico/trifásico, com tensão nominal de alimentação/entrada de 200-240V, com grau de proteção IP20 e saída de corrente máxima de 7,3 A, Atuando como chave de partida para a bomba de água. A Tabela 16 exemplifica tipos de falha que o inversor pode vir a ter.

Figura 26: Inversor de Frequência



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 16: Tipos de falha Inversor de Frequência

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Substituição Cooler Interno	2 horas
Verificação de Conectores	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

Com base nas falhas identificadas, foram obtidos os índices de manutenção na Tabela 17 que auxiliam no planejamento de ações preventivas.

Tabela 17: Índices Inversor de Frequência

Inversor de Frequência	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Substituição Cooler Interno	8766	2,0	99,9772%	R\$155,00
Verificação de Conectores	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00

Fonte: Acervo do Autor

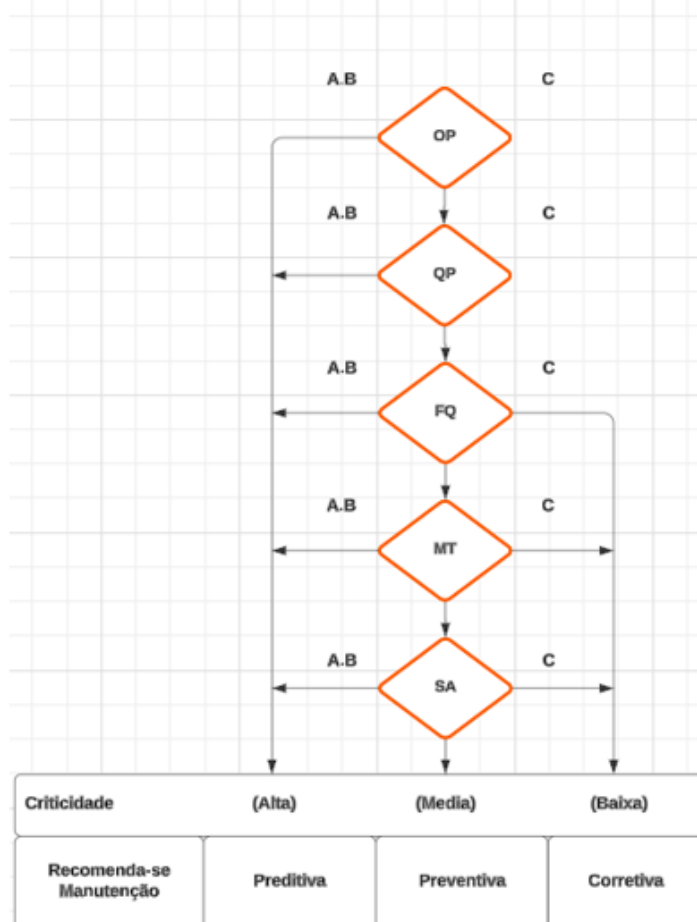
A criticidade das falhas foi analisada por meio da Figura 27 e 28 a seguir, permitindo uma gestão mais eficiente e preventiva do equipamento.

Figura 27: Tabela de Criticidade Inversor de Frequência

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Inversor de Frequência		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Muito Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Grande Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Todo o Processo	Cessa Grande Parte do Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são altos	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são baixos

Fonte: Acervo do Autor

Figura 28: Fluxograma de Criticidade Inversor de Frequência



Fonte: Acervo do Autor

3.1.9 INTERFACE HOMEM MÁQUINA

Uma Interface Homem Máquina (IHM) Siemens modelo KTP700 BASIC (Figura 29), com tela de 7 polegadas contendo retroiluminação LED, disponibilizando 8 teclas de função programável físicas, tensão de alimentação de 24Vcc, com uma única interface *Ethernet* para *upload* de suas *screens*, tendo múltiplas funcionalidades internas programáveis, sendo utilizado para tal desenvolvimento o *software* da Siemens (Tia Portal), *screens* interativas, de acordo com o seu processo. Pode-se observar na Tabela 18 alguns tipos de falha que o IHM pode apresentar.

Figura 29: IHM



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 18: Tipos de falha IHM

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Verificação de Conectores	30 minutos
Troca de Tela (LED, Touch)	3 horas

Fonte: Acervo do Autor

Para a IHM, foram avaliadas falhas relacionadas à conexão elétrica e desgaste do *display*, resultando nos tempos de reparo e custos médios representados na tabela 19. A análise permite antecipar intervenções e minimizar interrupções no monitoramento do processo.

Tabela 19: Índices IHM

IHM	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Verificação de Conectores	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Troca de Tela	8766	3,0	99,9772%	R\$830,00

Fonte: Acervo do Autor

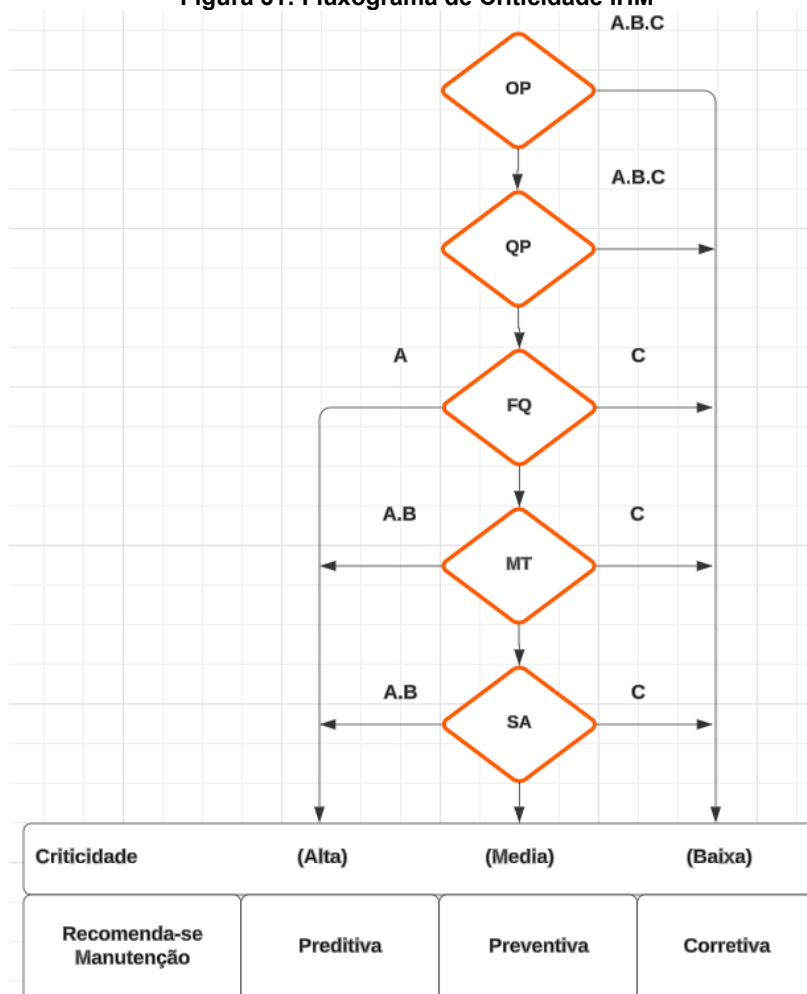
O grau de criticidade dessas falhas está representado nas Figuras 30 e 31, com base em critérios operacionais e de segurança.

Figura 30: Tabela de Criticidade IHM

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
IHM		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimônio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Não Afeta a Produção	Não Afeta a Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Não Cessa o Processo	Não Cessa o Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 2 Anos	Intervalo de 1 Ano
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 31: Fluxograma de Criticidade IHM



Fonte: Acervo do Autor

3.1.10 TRANSMISSOR DE TEMPERATURA SMAR (PT100)

Um Transmissor de temperatura SMAR TT303, que utiliza como base um sensor Pt100 (3 fios) (Figura 32) para medir a temperatura do fluido interno do tanque inferior, sendo que os limites mínimos e máximos de temperatura suportados pelo sensor (pt100) são de - 200 a 850°C, estes valores são padronizados segundo norma ITS-90. O transmissor de temperatura é alimentado pelo próprio barramento de comunicação Profibus- PA (9-32 Vdc) e tem um consumo de 12mA, para a realização da leitura realizada pelo transmissor existe a necessidade de um sinal de entrada referente a temperatura, vindo da termorresistência Pt100, aonde o mesmo faz a variação de sua resistência conforme a mudança de temperatura. O transmissor é totalmente programável parametrizável, podendo ser escolhida suas funções de leitura, unidade, mínimo e máximo (referência), casa decimais entre outros parâmetros, via *display* com chave magnética, porém conseguindo uma melhor visualização via *software*, podendo ser realizado duas leituras ao mesmo tempo, contendo assim o transmissor dois blocos funcionais. A Tabela 20 apresenta tipos de falha que podem vir ocorrer no IHM.

Figura 32: Transmissor de Temperatura (PT100)



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 20: Tipos de falha PT100

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Calibração	1 hora
Verificação do Conectores	30 minutos

Fonte: Acervo do Autor

Com base nas falhas comuns do transmissor, como calibração e verificação de conectores, foram estimados os tempos médios de falha e reparo, possibilitando o cálculo dos índices de desempenho conforme a Tabela 21.

Tabela 21: Índices PT100

DTP (PT100)	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Calibração	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00
Verificação do Conectores	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50

Fonte: Acervo do Autor

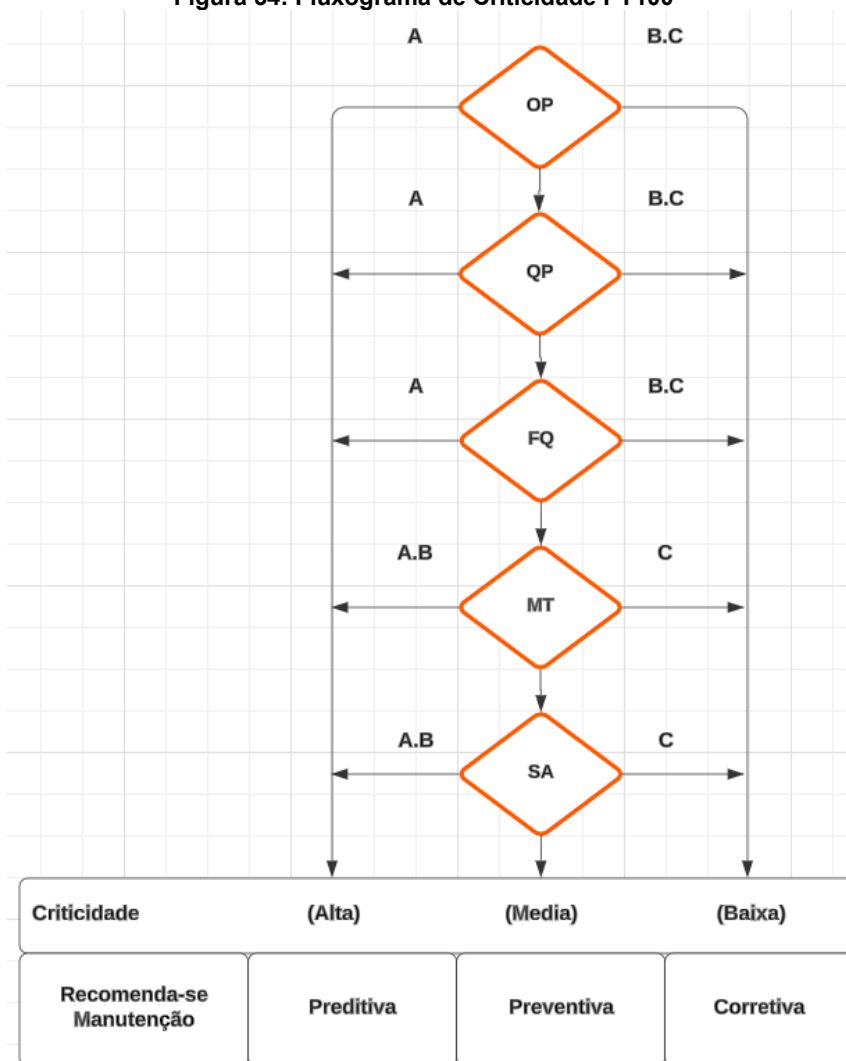
A seguir, é apresentado nas Figuras 33 e 34, que auxiliam na avaliação dos riscos associados à interrupção da medição de temperatura.

Figura 33: Tabela de Criticidade PT100

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
PT100		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimônio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 34: Fluxograma de Criticidade PT100



Fonte: Acervo do Autor

3.1.11 TRANSMISSOR POR DIFERENCIAL DE PRESSÃO PDSIII (VAZÃO)

Um Transmissor por diferencial de pressão (Figura 35), Siemens PDSIII, o transmissor dispõem de um *display* que apresenta os valores parametrizados de acordo com a função de aplicação desejada e programada, sendo que o transmissor por diferencial tem a capacidade de fazer diferentes tipos de medição, como: pressão absoluta, pressão diferencial, nível de volume, nível de massa, fluxo de volume, fluxo de massa, sendo a aplicação do mesmo em nosso sistema como medidor de vazão, para tal feito utilizamos acoplado ao transmissor, um componente chamado placa de orifício que tem como funcionalidade, criar o diferencial de pressão necessário para determinada medição, sendo o componente normalizado segundo ISO, e seu valor constante de diferencial criado padronizado e utilizado para programação do transmissor, sendo que, o transmissor pode ser parametrizado tanto diretamente no

dispositivo (parâmetros limitados), ou via *software* (todas suas funcionalidades). Utilizando para a parte de comunicação o protocolo de barramento Profibus-PA (9-32 Vdc), trabalhando em grande parte das unidades de medidas relacionadas ao (PVT), sendo umas das prioridades o funcionamento do conjunto completo (transmissor e placa de orifício) o mais preciso possível em relação a nível (Horizontal) por conta da realização da leitura correta. A Tabela 22 exemplifica alguns tipos de falha que podem vir ocorrer.

Figura 35: Transmissor Diferencial de Pressão (Vazão)



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 22: Tipos de falha DTP(Vazão)

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Calibração	1 hora
Verificação do Conectores	30 minutos
Inspeção Visual e Elétrica	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

As falhas do transmissor de vazão, especialmente relacionadas à calibração e conectividade, foram analisadas e quantificadas quanto ao impacto operacional. Com isso, definiram-se os indicadores de desempenho e custo na Tabela 23.

Tabela 23: Índices DTP(Vazão)

DTP (Vazão)	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Calibração	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00
Verificação do Conectores	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Inspeção Visual e Elétrica	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00

Fonte: Acervo do Autor

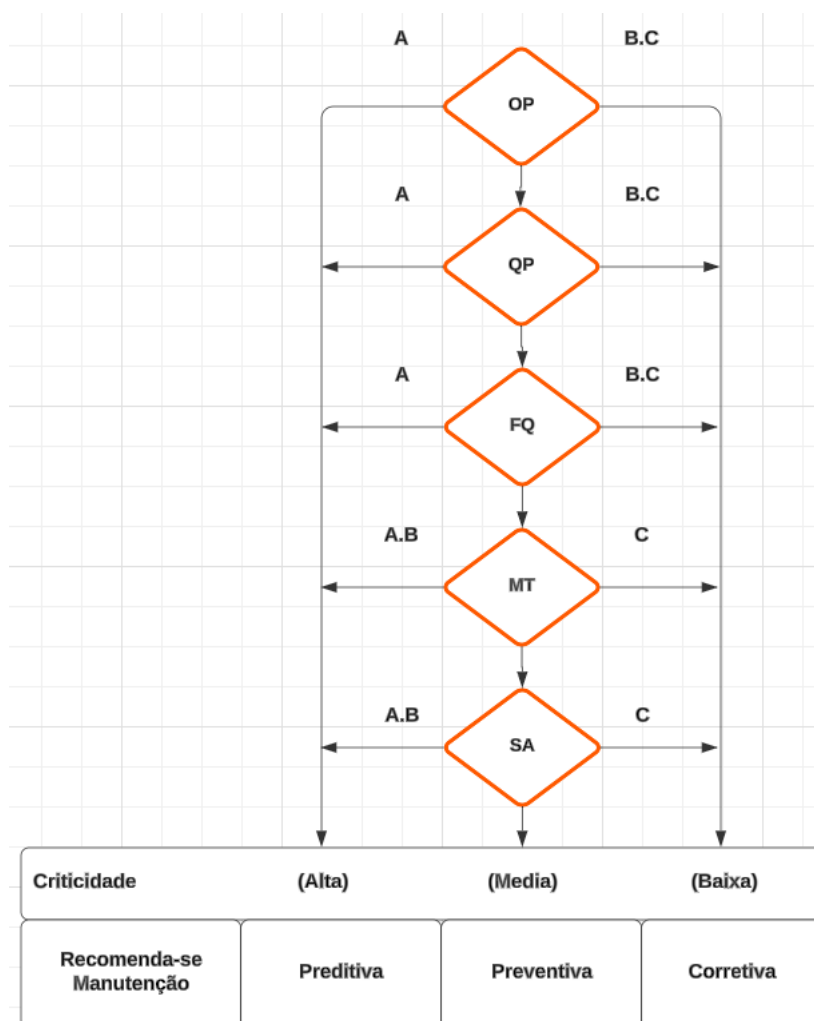
A criticidade do componente é discutida nas Figuras 36 e 37, onde se avalia o impacto na medição de vazão e no controle da planta.

Figura 36: Tabela de Criticidade DTP(Vazão)

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
DTP (Vazão)		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 37: Fluxograma de Criticidade DTP(Vazão)



Fonte: Acervo do Autor

3.1.12 TRANSMISSOR POR DIFERENCIAL DE PRESSÃO PDSIII (NÍVEL)

Um Transmissor por diferencial de pressão, Siemens PDSIII, o transmissor dispõem de um *display* que apresenta os valores parametrizados de acordo com a função de aplicação desejada e programada, sendo que o transmissor por diferencial tem a capacidade de fazer diferentes tipos de medição, como: pressão absoluta, pressão diferencial, nível de volume, nível de massa, fluxo de volume, fluxo de massa, sendo a aplicação do mesmo em nosso sistema como medidor de nível, realizando a medição de tal maneira que o mesmo realize a leitura da pressão no topo do tanque e em sua base, realizando assim a diferença de pressão, e em seu valor de saída base obtendo mca (metro coluna de água). O transmissor pode ser parametrizado tanto diretamente no dispositivo (parâmetros limitados), ou via *software* (todas suas funcionalidades). Utilizando para a parte de comunicação o protocolo de barramento Profibus-PA (9-32Vdc), trabalhando em grande parte das unidades de medidas. A Tabela 24 demonstra tipos de falha do DTP(Nível).

Figura 38: Transmissor Diferencial de Pressão (Nível)



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 24: Tipos de falha DTP(Nível)

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Calibração	1 hora
Verificação do Conectores	30 minutos

Fonte: Acervo do Autor

As principais falhas no transmissor de nível foram associadas a calibração e falhas de conexão, permitindo a elaboração de índices de falha conforme a Tabela 25.

Tabela 25: Índices DTP(Nível)

DTP (NÍVEL)	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
-------------	---------	---------	------	-----

Calibração	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00
Verificação do Conectores	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50

Fonte: Acervo do Autor

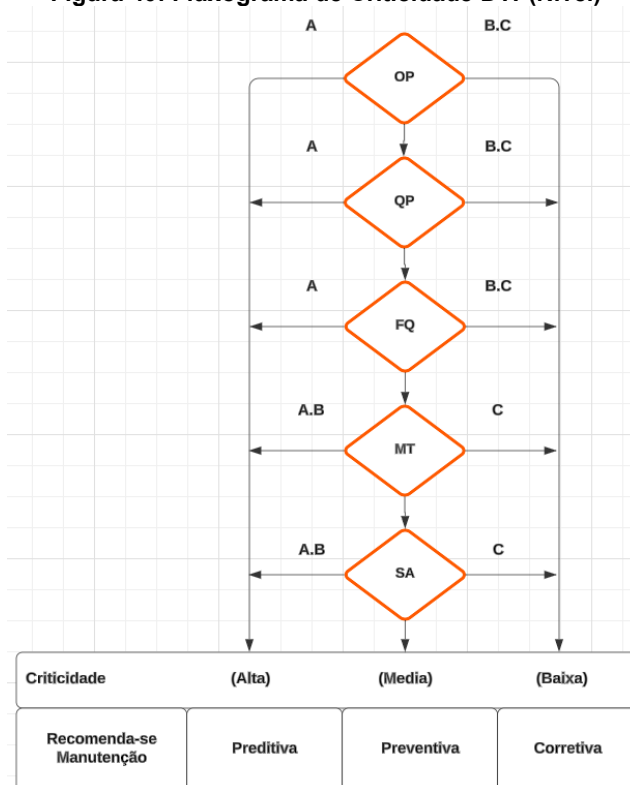
A seguir, a Figura 39 e 40 mostram os efeitos de possíveis falhas sobre o controle de nível da planta, com impacto direto na segurança e na operação contínua.

Figura 39: Tabela de Criticidade DTP(Nível)

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
DTP (Nível)		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 40: Fluxograma de Criticidade DTP(Nível)



Fonte: Acervo do Autor

3.1.13 TRANSMISSOR POR PRESSÃO P DSIII

Um transmissor de pressão Siemens P DSIII (Figura 41), atuando em meio ao sistema hidráulico, para medição da pressão do fluido utilizado, com o objetivo de comparação direta entre o manômetro de saída da bomba e com o transmissor referido, tem-se uma certa defasagem pela existência de alguns subdimensionamentos criados pelas prioridades definidas, sendo um exemplo do mesmo o tamanho da tubulação em referência a vazão da bomba, um outro empecilho seria a passagem direta por um radiador tipo colmeia, aonde no mesmo ocorre uma gigantesca perda de carga. O mesmo dispõe de um *display* que apresenta os valores parametrizados de acordo com a função de aplicação desejada e programada, o transmissor pode ser parametrizado tanto diretamente no dispositivo (parâmetros limitados), ou via *software* (todas suas funcionalidades). Utilizando para a parte de comunicação o protocolo de barramento Profibus-PA (9-32 Vdc). A Tabela 26 exemplifica tipos de falha que podem vir a ocorrer.

Figura 41: Transmissor por Pressão



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 26: Tipos de falha Transmissor por Pressão

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Calibração	1 hora
Verificação do Conexões	30 minutos
Inspeção Visual e Elétrica	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

Este transmissor mede diretamente a pressão do sistema hidráulico, sendo crucial para o monitoramento da bomba. As falhas mais comuns dizem respeito à calibração e conexões (Tabela 27).

Tabela 27: Índices Transmissor por Pressão

TP	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Calibração	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00
Verificação do Conectores	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Inspeção Visual e Elétrica	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00

Fonte: Acervo do Autor

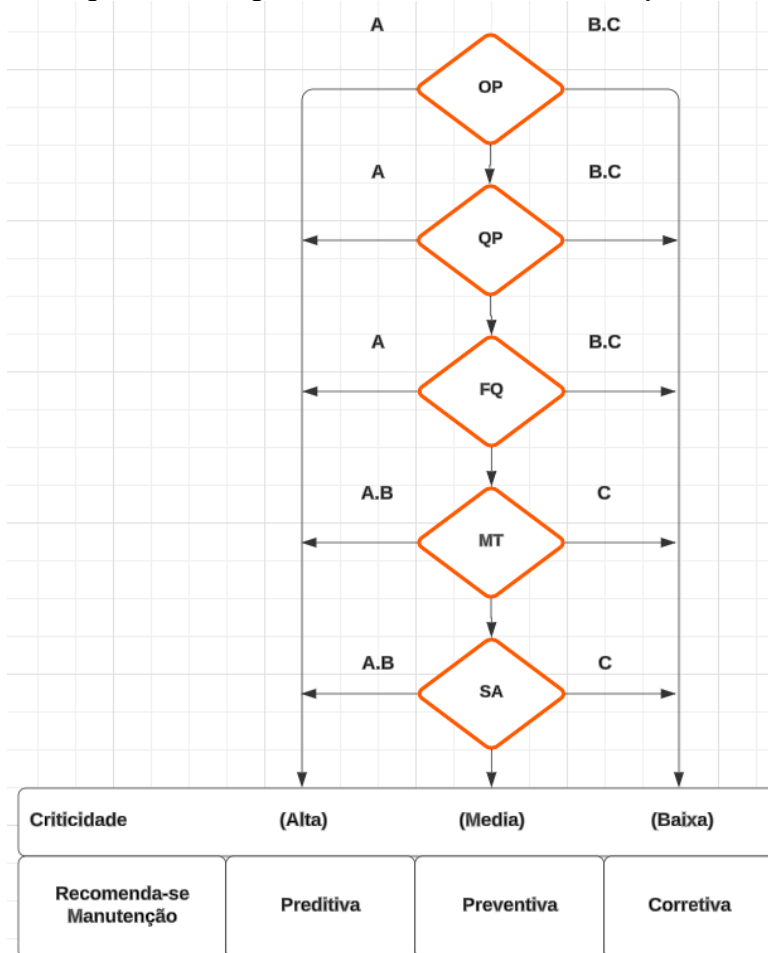
As Figuras 42 e 43 indicam a criticidade associada às falhas deste transmissor, considerando os riscos de operação com pressão inadequada.

Figura 42: Tabela de Criticidade Transmissor por Pressão

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
TP(Pressão)		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 43: Fluxograma de Criticidade Transmissor por Pressão



Fonte: Acervo do Autor

3.1.14 MANÔMETRO

Dois manômetros (Figura 44), instrumento utilizado para medição de pressão de fluidos, em sistemas fechados, podendo ser chamado de medidor de pressão ou simplesmente PI (*Pressure Indicator*), sendo que o manômetro deve estar sobre um regimento/norma de fabricação e calibração (NBR14105). - O manômetro de saída da bomba, é um mostrador com diâmetro de 63mm, total inox AISI-304, escala simples de 0 a 100 Psi, com enchimento de glicerina, conexão de saída vertical, rosca de 1/4" BSP, precisão 1,6% F.E. classe A para fluido água. Sendo exercida a leitura referente a pressão do sistema. - O manômetro do tanque pressurizado, é um mostrador com diâmetro de 63mm com uma escala de 0 a 150 psi (0 a 10 bar), com rosca vertical 1/4" BSP, caixa em aço carbono e enchimento de glicerina, única e exclusivamente para ar comprimido. A Tabela 28 exemplifica tipos de falha nos manômetros.

Figura 44: Manômetro



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 28: Tipos de falha Manômetro

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Inspecionar Precisão	1 hora
Verificação da Vedação	30 minutos

Fonte: Acervo do Autor

Com base nas falhas de precisão e vedação, foram estimados os tempos médios de reparo, permitindo o cálculo dos principais índices de desempenho. A Tabela 29 apresenta o impacto da falha no monitoramento do sistema pressurizado.

Tabela 29: Índices Manômetro

ROTÂMETRO	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Inspecionar Precisão	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00
Verificação da Vedação	8766	0,5	99,9943%	R\$25,00

Fonte: Acervo do Autor

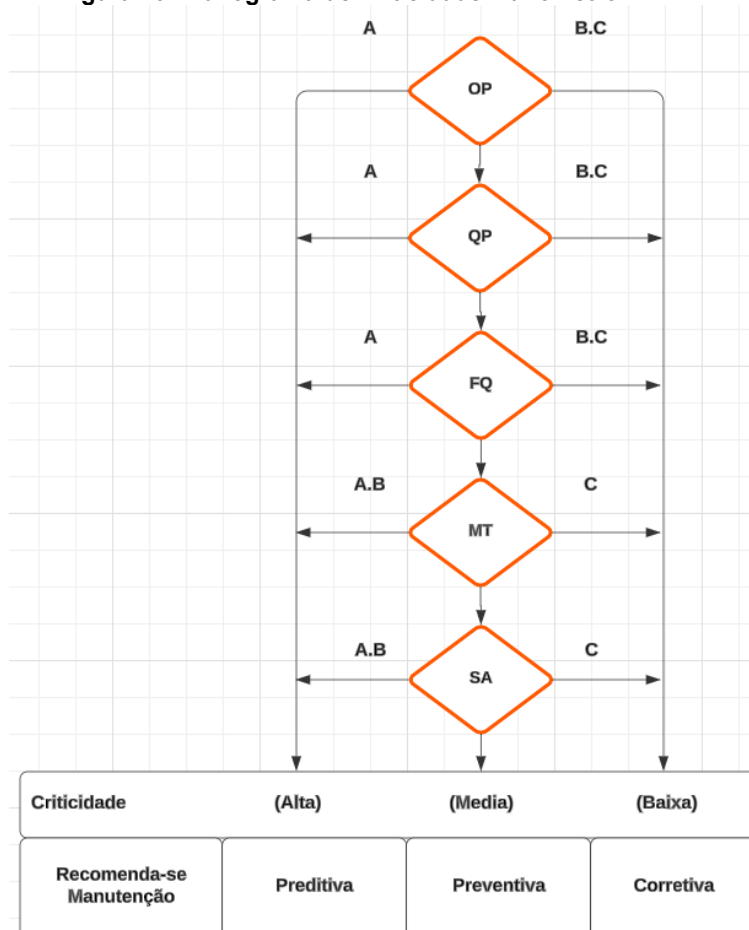
As figuras 45 e 46 que segue possibilita a classificação dos manômetros quanto à necessidade de intervenção prioritária, com foco na segurança.

Figura 45: Tabela de Criticidade Manômetro

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Manômetro		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 46: Fluxograma de Criticidade Manômetro



Fonte: Acervo do Autor

3.1.15 TRANSDUTOR DE PRESSÃO TP-01

Transdutor de Pressão (Figura 47) tem como principal funcionalidade no sistema em geral, realizar a leitura analógica da grandeza de pressão manométrica do ar comprimido no tanque inferior, sendo este valor transmitido para o módulo de expansão de I/O's. Sensor de pressão com sinal de saída analógico, 4 a 20 mA, faixa de pressão: 0 a 1 MPa, com conector cilíndrico tipo M12, alimentação: 8 a 36 Vcc, corpo e elemento sensor construído em aço inox 316L, ideal para aplicações com óleos, líquidos e gases, velocidade de resposta de 1 ms, rosca G 1/4". A Tabela 30 apresenta falhas do transdutor.

Figura 47: Transdutor de Pressão



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 30: Tipos de falha Transdutor de Pressão

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Inspeção Visual e Funcional	30 minutos
Calibração Funcional	1 hora
Limpeza do Transdutor	2 horas

Fonte: Acervo do Autor

A partir dos modos de falha observados, como falhas de leitura e conexões, foram calculados os tempos médios de reparo e os custos envolvidos, apresentados nos índices a seguir (Tabela 31).

Tabela 31: Índices Transdutor de Pressão

Transdutor de Pressão	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Inspeção Visual e Funcional	8766	0,5	99,9772%	R\$17,50
Calibração Funcional	8766	1,0	99,9772%	R\$35,00
Limpeza do Transdutor	8766	2,0	99,9772%	R\$70,00

Fonte: Acervo do Autor

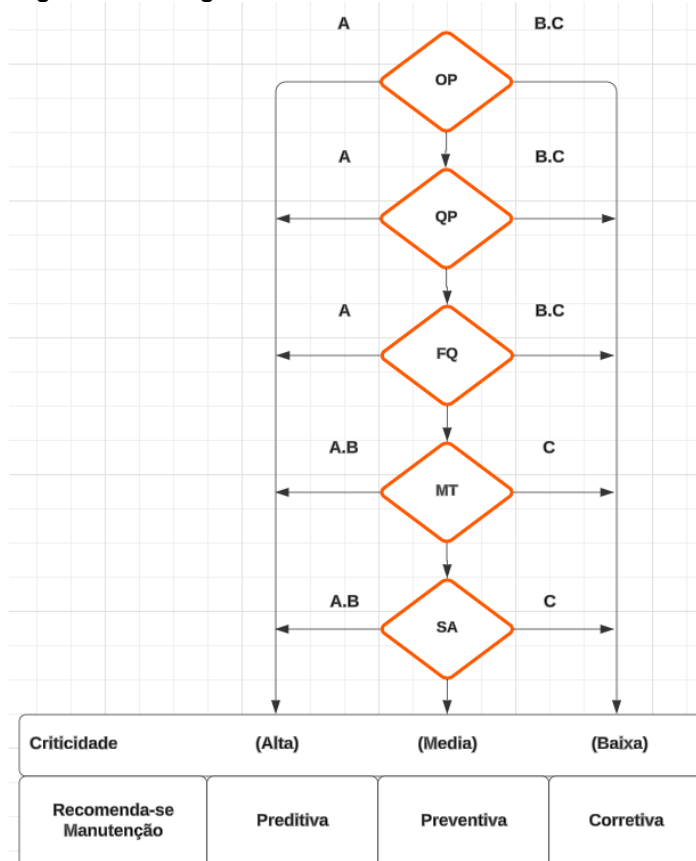
A criticidade deste componente é destacada nas Figuras 48 e 49, com base no impacto sobre o controle de pressão e acionamento de dispositivos de segurança.

Figura 48: Tabela de Criticidade Transdutor de Pressão

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Transdutor de Pressão		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 49: Fluxograma de Criticidade Transdutor de Pressão



Fonte: Acervo do Autor

3.1.16 SENSOR DE NÍVEL HIDROSTÁTICO

Um sensor de nível hidrostático (Figura 50) localizado internamente no tanque superior, que por sua vez percorre desde o topo até a base do mesmo, e tem como funcionamento para o sistema a realização da medição do nível de água em mca (metro coluna de água), tendo como saída um sinal analógico de 4 a 20 mA, 2 fios proporcional ao nível de água, quanto maior o nível exercido sobre o sensor, maior a corrente de saída, sendo seu funcionamento base a aplicação de pressão sobre o corpo do sensor ocorrendo uma alteração de resistência ou capacitância aplicada em uma célula piezo resistiva. Transmissor de nível hidrostático cabo de 2 metros feito de polietileno, material do corpo é Aço Inox 316, *Range*: 0 a 0,078 bar (0,8 mH₂O), Alimentação: 10 a 30 Vcc, Saída: 4 a 20 mA (2 fios), Temperatura de trabalho: - 20 a 85°C. A Tabela 32 exemplifica tipos de falhas que podem ocorrer com o sensor.

Figura 50: Sensor de Nível Hidrostatico



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 32: Tipos de falha Sensor de Nível Hidrostático

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Calibração	2 horas
Limpeza do Sensor	1 hora
Verificação dos Conectores	30 minutos

Fonte: Acervo do Autor

As falhas identificadas no sensor de nível hidrostático envolvem principalmente calibração e limpeza, impactando diretamente o controle de nível do tanque. A Tabela 33 apresenta os dados de desempenho e custo da manutenção.

Tabela 33: Índices Sensor de Nível Hidrostático

Sensor de Nível Hidrostático	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Calibração	8766	2,0	99,9772%	R\$70,00
Limpeza do Sensor	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00

Verificação dos Conectores	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
----------------------------	------	-----	----------	----------

Fonte: Acervo do Autor

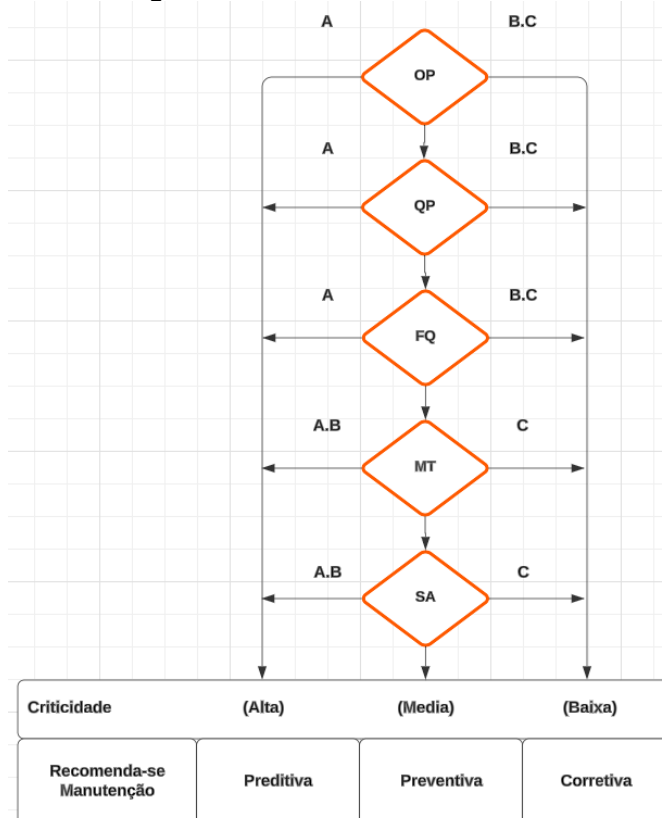
A análise de criticidade, representada graficamente nas Figuras 51 e 52, permite entender a urgência de intervenção em caso de falha no sensor.

Figura 51: Tabela de Criticidade Sensor de Nível Hidrostático

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Sen.Nível Hidrostático		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Não Afeta a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 52: Fluxograma de Criticidade Sensor de Nível Hidrostático



Fonte: Acervo do Autor

3.1.17 VÁLVULA DE ALÍVIO SEGURANÇA

A válvula de alívio e segurança (Figura 53), tem a função de aliviar a pressão em uma linha industrial, ela fica instalada em algum ponto estratégico da linha e quando a pressão ultrapassa o limite estabelecido a válvula de alívio e segurança abre aliviando a pressão. A construção da válvula de alívio e segurança é basicamente composta por um corpo e um obturador, esse obturador no caso é responsável por manter a válvula de alívio e segurança fechada, em sua montagem ela também é composta por um anel de vedação que vai acoplado no obturador, o que garante estanqueidade total para a válvula evitando vazamentos na válvula mantendo assim o funcionamento perfeito do sistema da válvula, e também possui uma mola que fica acima do obturador, ela é responsável por mantê-lo tensionado para baixo, e assim a válvula é mantida fechada. A pressão começa a atuar no orifício de entrada da válvula de alívio e segurança tentando empurrar o obturador para cima, mas a tensão da mola não deixa isso acontecer, conforme a pressão do sistema vai aumentando, a mola começa a ceder para a pressão do sistema que está aumentando, até que a pressão se torna maior que a tensão da mola sobre o obturador, nesse momento a pressão vence a mola fazendo a abertura do obturador. Após isso a pressão do sistema começa a passar pelo corpo da válvula de alívio e segurança aliviando a pressão dentro do sistema e depois da pressão ter voltado ao “normal” a tensão da mola volta a ser mais forte que a pressão e a válvula de alívio e segurança se fecha novamente. Isso mantém a segurança dos demais dispositivos do sistema. A Tabela 34 demonstra tipos de falha do sensor de nível hidrostático.

Figura 53: Válvula de Alívio e Segurança



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 34: Tipos de falha Válvula Alívio de Segurança

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Inspeção Visual	30 minutos

Teste Funcional (Especializado)	30 minutos
Calibração	1 horas

Fonte: Acervo do Autor

Por ser um componente crítico para a segurança do sistema, as falhas nessa válvula exigem atenção especial. Com base nos modos de falha identificados, estimou-se o tempo de reparo e custos, organizados na Tabela 35.

Tabela 35: Índices Válvula Alívio de Segurança

Válvula de Alívio de Segurança	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Inspeção Visual	8766	0,5	99,9943%	R\$35,00
Teste Funcional (Especializado)	8766	0,5	99,9943%	R\$137,50
Calibração	8766	1,0	99,9886%	R\$17,50

Fonte: Acervo do Autor

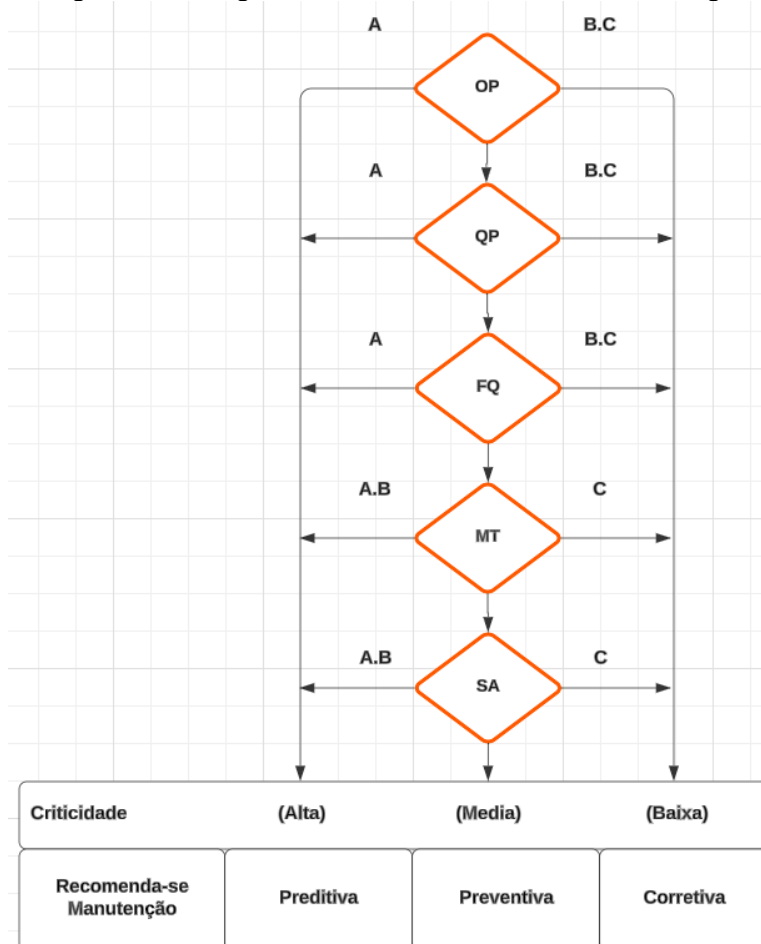
A Figura 54 e 55 mostra a relevância desse componente na prevenção de acidentes, orientando estratégias de manutenção preventiva.

Figura 54: Tabela de Criticidade Válvula Alívio de Segurança

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Válvula de Segurança		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Exposição a Riscos
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 6 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 55: Fluxograma de Criticidade Válvula Alívio de Segurança



Fonte: Acervo do Autor

3.1.18 TERMOSTATO DE SEGURANÇA

Um termostato de segurança (Figura 56), que tem como real função e utilidade preservar e manter a segurança dos demais usuários que eventualmente esteja manuseando, operando ou próximo a CP003-UA, protegendo o usuário em relação a altas temperaturas com possíveis queimaduras de 1º grau, tendo como base normas a serem seguidas, sendo um auxiliar do termostato a indicação visual com adesivo de perigo. Termostato ASHCROFT, (Prova-De-Tempo) T4 24 TS 02769M 20/95 °C XFS Listado com Certificado, CD1. Com dados obtidos foi possível determinar tipos de falhar do termostato conforme a Tabela 36.

Figura 56: Termostato de Segurança



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 36: Tipos de falha Termostato de Segurança

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Inspeção funcional	30 minutos
Verificação de Vedação	30 minutos
Teste de Atuação	45 minutos

Fonte: Acervo do Autor

O termostato de segurança atua como barreira contra sobreaquecimentos. Os modos de falha foram analisados e organizados conforme sua frequência e impacto, permitindo o cálculo dos índices de falha e custo conforme a Tabela 37.

Tabela 37: Índices Termostato de Segurança

Termostato de Segurança	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Inspeção funcional	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Verificação de Vedação	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Teste de Atuação	8766	0,75	99,9914%	R\$176,50

Fonte: Acervo do Autor

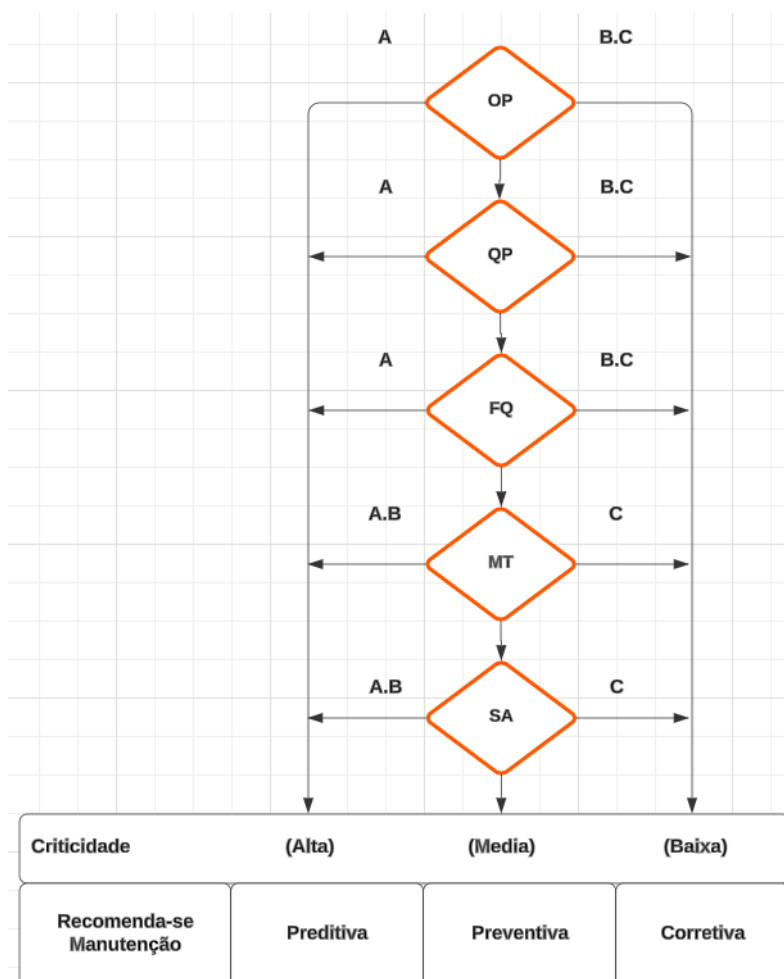
As Figuras 57 e 58 demonstram o grau de criticidade desse equipamento, considerando sua função de proteção ao usuário e aos demais dispositivos.

Figura 57: Tabela de Criticidade Termostato de Segurança
A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA

Termostato de Segurança		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Exposição a Riscos
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 3 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 58: Fluxograma de Criticidade Termostato de Segurança



Fonte: Acervo do Autor

3.1.19 PRESSOSTATO DE SEGURANÇA

Um pressostato de segurança (Figura 59) única e exclusivamente direcionado para o tanque inferior pressurizado, tendo um funcionamento de proteção elétrica no sistema, com base na ideologia de que se a programação utilizando o componente TP-01, não estiver de acordo limitando a pressão interna do tanque o pressostato de segurança acione como uma contramedida, o mesmo tem apenas funcionalidade com ar comprimido, com uma opção de controle de sensibilidade, que pode ser alterada regulando o ponto direcional, para a unidade que deseja, para regular o ponto direcional basta, movimentar o parafuso que se encontra na parte superior do corpo do pressostato. Proteção contra curto-circuito (Fusível 16 A), conexão de 1/4", *range* de funcionamento de 2 a 12 bar variável. Os tipos de falha do pressostato de segurança são apresentados na Tabela 38.

Figura 59: Pressostato de Segurança



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 38: Tipos de falha Pressostato de Segurança

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Teste de Atuação	45 minutos
Ajuste no Ponto de Atuação (Caso Desregulado)	30 minutos
Inspeção Visual e Elétrica	30 minutos

Fonte: Acervo do Autor

Com base em falhas típicas como desregulagem e atuação incorreta, foram estimados os tempos de reparo e custos médios. Os índices calculados auxiliam no monitoramento da confiabilidade do pressostato de acordo com a Tabela 39.

Tabela 39: Índices Pressostato de Segurança

Pressostato de Segurança	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Teste de Atuação	8766	0,75	99,9914%	R\$151,25
Ajuste no Ponto de Atuação (Caso Desregulado)	8766	0,5	99,9943%	R\$17,50
Inspeção Visual e Elétrica	8766	2,0	99,9772%	R\$35,00

Fonte: Acervo do Autor

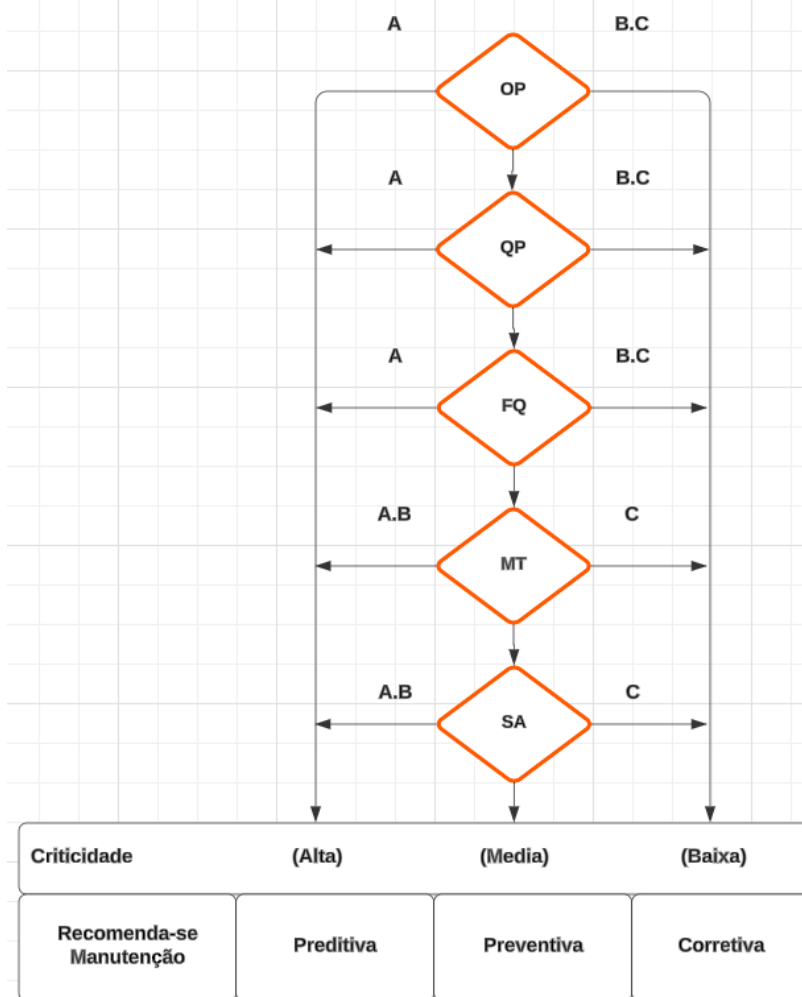
A análise de criticidade apresentada em seguida permite priorizar intervenções com base nos riscos à segurança e falhas operacionais do sistema de ar comprimido, de acordo com as Figuras 60 e 61.

Figura 60: Tabela de Criticidade Pressostato de Segurança

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Pressostato de Segurança		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Exposição a Riscos
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção	Afeta Pequena Parte da Produção
OP	Oportunidade	Cessa Parte do Processo	Cessa Parte Pequena do Processo	Não Cessa o Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 3 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são relevantes	O tempo e/ou custo de reparo são pouco relevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 61: Fluxograma de Criticidade Pressostato de Segurança



Fonte: Acervo do Autor

3.1.20 TANQUES

Um tanque inferior com capacidade útil de 60L e um tanque superior com capacidade de 140L com visor de nível. Com temperatura de projeto de 100°C e de trabalho de 70°C. E vácuo total e pressão de projeto interno de 10,0 kgf/cm². Tipos de falha são apresentadas na Tabela 40.

Figura 62: Tanques



Fonte: Adaptado de De Lorenzo do Brasil (2021)

Tabela 40: Tipos de falha Tanques

Tipo de Falha	Tempo de Reparo
Inspeção Visual	1 horas
Inspeção Interna	8 horas
Reaperto de Conexões	2 horas
Teste Hidrostático (Especialista)	24 horas
Troca da Água	1 hora

Fonte: Acervo do Autor

Os tanques, por armazenarem os fluidos do sistema, exigem inspeções periódicas para garantir sua integridade. Com base nas possíveis falhas, como vazamentos e falhas estruturais, foram definidos os principais indicadores de falha na Tabela 41.

Tabela 41: Índices Tanques

Tanques	TMEF[h]	TMPR[h]	DISP	CMN
Inspeção Visual	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00
Inspeção Interna	8766	8,0	99,9088%	R\$280,00
Reaperto de Conexões	8766	2,0	99,9772%	R\$70,00
Teste Hidrostático (Especialista)	8766	24,0	99,7270%	R\$1640,00
Troca da Água	8766	1,0	99,9886%	R\$35,00

Fonte: Acervo do Autor

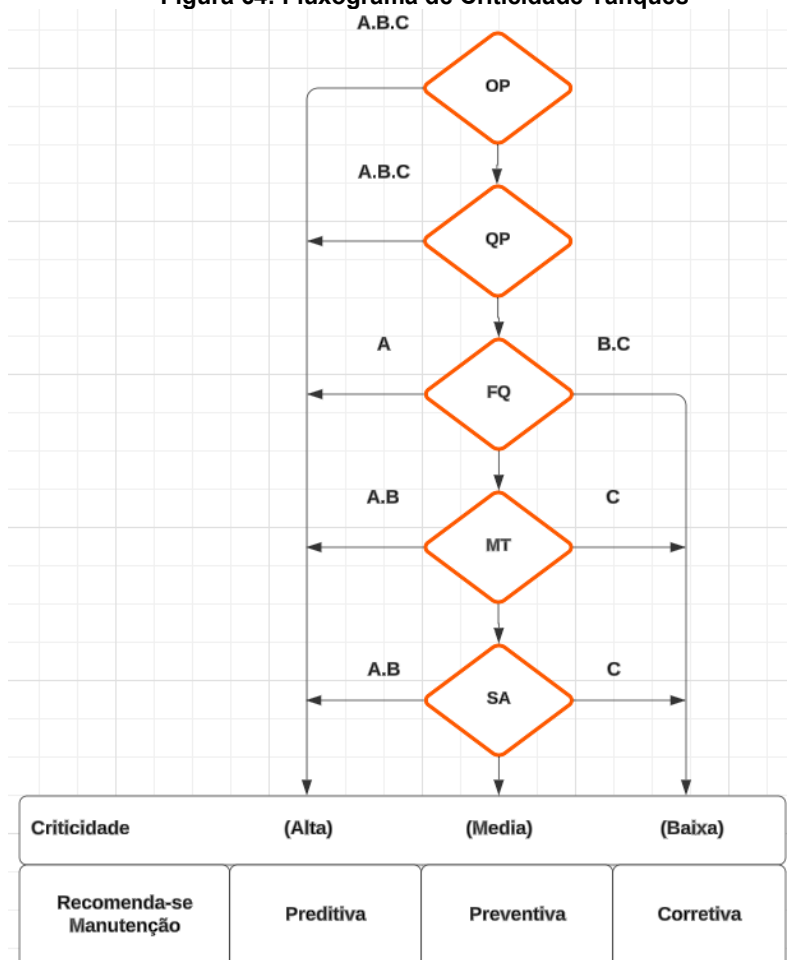
A criticidade associada a essas falhas é apresentada nas Figuras 63 e 64, considerando o impacto sobre o abastecimento e segurança da planta.

Figura 63: Tabela de Criticidade Tanques

A PARADA REPENTINA DO EQUIPAMENTO PROVOCA				
Tanques		Alta (A)	Media (B)	Baixa (C)
SA	Segurança e Meio-Ambiente	Acidentes Pessoais e Danos Materiais	Exposição a Riscos de Acidentes do Patrimonio Variação	Risco Baixo
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Totalmente a Produção	Afeta Totalmente a Produção
OP	Oportunidade	Cessa Todo Processo	Cessa Todo Processo	Cessa Todo Processo
FQ	Frequência de Quebra	Intervalo Maior que 2 Anos	Intervalo de 1 Ano	Intervalo de 3 Mês
MT	Mantenabilidade	O tempo e/ou custo de reparo são elevados	O tempo e/ou custo de reparo são baixos	O tempo e/ou custo de reparo são pouco irrelevantes

Fonte: Acervo do Autor

Figura 64: Fluxograma de Criticidade Tanques



Fonte: Acervo do Autor

3.2 TABELAS GERAIS

3.2.1 ÍNDICES DE MANUTENÇÃO

Figura 65: Índice de Manutenção Falhas

Índice de Gestão De Falha					Considerando a utilização durante 1 Ano				
Equipamento	TMEF[h]	TMPR[h]	TMPF[h]	Disponibilidade	T de Funcionamento [h]	Nº de Falhas	Tempo de Reparo [h]	Nº de Reparos	Nº Falha Componente
Aquecedor	4383	2,5	4383	99,943%	8766	2	5	2	2
Bomba de Agua	2191,5	12,666667	2922	99,425%	8766	4	38	3	3
Compressor de Ar	1461	1,75	1461	99,880%	8766	6	10,5	6	6
Radiador	2922	1,1666667	2922	99,960%	8766	3	3,5	3	3
Valvula Solenoide	2922	1,8333333	2922	99,937%	8766	3	5,5	3	3
FV1 (Valvula Posicionadora)	1461	1,7	1753,2	99,884%	8766	6	8,5	5	5
FV2 (Valvula Posicionadora)	1461	1,7	1753,2	99,884%	8766	6	8,5	5	5
Valvula Bidirecional	8766	1	8766	99,989%	8766	1	1	1	1
Valvula Direcional	8766	1	8766	99,989%	8766	1	1	1	1
CLP	2191,5	2,25	2191,5	99,897%	8766	4	9	4	4
Inversor de Frequencia	4383	1,5	4383	99,966%	8766	2	3	2	2
IHM	4383	1,75	4383	99,960%	8766	2	3,5	2	2
Módulo mestre de rede IOLink para Profibus DP	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Multimedidor Eletrônico	8766	1	8766	99,989%	8766	1	1	1	1
PT100	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
DTP(Vazão)	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
DTP(Nível)	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Transmissor por Pressão	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Manômetros	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Rotâmetro	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Transmissor de Temperatura IOLink	8766	1	8766	99,989%	8766	1	1	1	1
Transdutor de Pressão	2922	1,1666667	2922	99,960%	8766	3	3,5	3	3
Sensor de Nível Hidrostático	2922	0,6666667	2922	99,977%	8766	3	2	3	3
Sensor de Nível Tipo Boia	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Sensor de Nível Tipo Haste	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Botão de Emergência	8766	1	8766	99,989%	8766	1	1	1	1
Termostato de Segurança	2922	0,5833333	2922	99,980%	8766	3	1,75	3	3
Pressostato de Segurança	2922	0,5833333	2922	99,980%	8766	3	1,75	3	3
Torre de Sinaleiro	4383	0,75	4383	99,983%	8766	2	1,5	2	2
Valvula de Alivio e Segurança	2922	0,6666667	2922	99,977%	8766	3	2	3	3
Tanques	2191,5	8,75	2191,5	99,602%	8766	4	35	4	4

Fonte: Acervo do Autor

3.2.1 ÍNDICES DE MANUTENÇÃO

Figura 66: Índice de Custos Manutenção

Índice de Gestão De Custo									
Equipamento	Cotação ou VLRP	CTMN	RF	TPR[h]	CMN	FTEP	CMPF	CMVR	CMEF
Aquecedor	R\$ 250,00	R\$ 410,25	2	4	R\$ 270,25	R\$ 851.000,00	0,05%	164%	R\$ 205,13
Bomba de Agua	R\$ 2.150,00	R\$ 2.165,00	4	39	R\$ 800,00	R\$ 851.000,00	0,25%	101%	R\$ 541,25
Compressor de Ar	R\$ 14.999,00	R\$ 2.595,00	6	18,5	R\$ 1.947,50	R\$ 851.000,00	0,30%	17%	R\$ 432,50
Radiador	R\$ 2.856,00	R\$ 272,50	3	3,5	R\$ 150,00	R\$ 851.000,00	0,03%	10%	R\$ 90,83
Valvula Solenoide	R\$ 525,00	R\$ 637,50	3	5,5	R\$ 445,00	R\$ 851.000,00	0,07%	121%	R\$ 212,50
FV1 (Valvula Posicionadora)	R\$ 14.500,00	R\$ 920,00	6	8,5	R\$ 622,50	R\$ 851.000,00	0,11%	6%	R\$ 153,33
FV2 (Valvula Posicionadora)	R\$ 14.500,00	R\$ 920,00	6	8,5	R\$ 622,50	R\$ 851.000,00	0,11%	6%	R\$ 153,33
Valvula Bidirecional	R\$ 59,80	R\$ 35,00	1	1	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,00%	59%	R\$ 35,00
Valvula Direcional	R\$ 59,80	R\$ 35,00	1	1	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,00%	59%	R\$ 35,00
CLP	R\$ 4.989,00	R\$ 1.740,00	5	10	R\$ 1.390,00	R\$ 851.000,00	0,20%	35%	R\$ 348,00
Inversor de Frequencia	R\$ 4.000,00	R\$ 295,00	2	3	R\$ 190,00	R\$ 851.000,00	0,03%	7%	R\$ 147,50
IHM	R\$ 3.900,00	R\$ 970,00	2	3,5	R\$ 847,50	R\$ 851.000,00	0,11%	25%	R\$ 485,00
Módulo mestre de rede IOLink para Profibus DP	R\$ 2.000,00	R\$ 70,00	2	2	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	4%	R\$ 35,00
Multimedidor Eletrônico	R\$ 1.807,00	R\$ 35,00	1	1	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,00%	2%	R\$ 35,00
Transmissor de Temperatura SMAR (PT-100)	R\$ 345,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	15%	R\$ 26,25
Transmissor por Diferencial de Pressão P DSIII (Vazão)	R\$ 3.750,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	1%	R\$ 26,25
Transmissor por Diferencial de Pressão P DSII (Nível)	R\$ 3.750,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	1%	R\$ 26,25
Transmissor por Pressão P DSIII	R\$ 3.750,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	1%	R\$ 26,25
Manômetros	R\$ 60,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	88%	R\$ 26,25
Rotâmetro	R\$ 180,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	29%	R\$ 26,25
Transmissor de temperatura IOLink	R\$ 1.768,00	R\$ 70,00	2	2	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	4%	R\$ 35,00
Transdutor de Pressão TP-01	R\$ 140,00	R\$ 122,50	3	3,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	88%	R\$ 40,83
Sensor de Nível Hidrostático	R\$ 598,00	R\$ 70,00	3	2	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	12%	R\$ 23,33
Sensores de Nível tipo Boia	R\$ 25,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	210%	R\$ 26,25
Sensor de Nível tipo Haste	R\$ 170,00	R\$ 52,50	2	1,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	31%	R\$ 26,25
Botão de Emergência	R\$ 37,00	R\$ 17,50	2	0,5	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,00%	47%	R\$ 8,75
Termostato de Segurança	R\$ 93,00	R\$ 237,75	3	1,75	R\$ 176,50	R\$ 851.000,00	0,03%	256%	R\$ 79,25
Pressostato de Segurança	R\$ 200,00	R\$ 212,50	3	1,75	R\$ 151,25	R\$ 851.000,00	0,02%	106%	R\$ 70,83
Torre de Sinaleiro	R\$ 195,00	R\$ 70,00	2	2	R\$ -	R\$ 851.000,00	0,01%	36%	R\$ 35,00
Válvula de Alívio e Segurança	R\$ 1.488,00	R\$ 207,50	3	2	R\$ 137,50	R\$ 851.000,00	0,02%	14%	R\$ 69,17
Tanques	R\$ 2.150,00	R\$ 2.025,00	5	35	R\$ 800,00	R\$ 851.000,00	0,24%	94%	R\$ 405,00

Fonte: Acervo do Autor

4. CAPÍTULO – AÇÕES DE MANUTENÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar as ações de manutenção realizadas na planta didática utilizada durante o desenvolvimento do projeto, destacando os procedimentos adotados, os equipamentos envolvidos e os resultados obtidos com cada intervenção.

Durante o período de trabalho com a planta, foram identificados falhas e desgastes em diversos componentes eletromecânicos e eletrônicos. Através da aplicação de metodologias sistemáticas de manutenção, buscou-se restabelecer o funcionamento pleno do sistema, melhorar a performance operacional e prevenir falhas futuras. A seguir, descrevem-se em detalhes as ações de manutenção realizadas.

O começo das manutenções se deu primeiramente no sistema pneumático, o filtro regulador da válvula posicionadora (FV1) apresentou falhas e vazamento de ar e, ao realizar a inspeção e desmontagem identificou, que no mesmo havia detritos, dessa forma sendo necessária a troca do filtro, a Figura 67 mostra o componente danificado.

Figura 67: Detritos no Filtro Regulador da FV1



Fonte: Autor

Como a manutenção realizada foi um tipo isolado, só será possível determinar um período da troca do filtro a partir da segunda falha, assim determinando apenas inspeções preventivas para o estado do filtro regulador.

Ainda no sistema pneumático compressor apresentava um mal funcionamento e também mau cheiro durante seu uso, com isso foi realizada através do dreno a

limpeza de impurezas que estavam alocadas internamente no compressor conforme a imagem 68.

Figura 68: Dreno de água Compressor



Fonte: Autor

Devido uso prolongado ou de determinado período de tempo, constatou-se há a necessidade de completar o óleo dos motos compressores que trabalham banhados a óleo evitando dano e garantindo bom funcionamento do compressor, a imagem 69 mostra o baixo nível de óleo observado durante uma inspeção.

Figura 69: Nível do Óleo Compressor



Fonte: Autor

Consultando o manual Airzap Anest Iwata (2021) referente ao modelo do equipamento e contactando profissionais do ramo, foi constatado a necessidade de diariamente fazer essas duas inspeções para o odor e bom funcionamento do compressor.

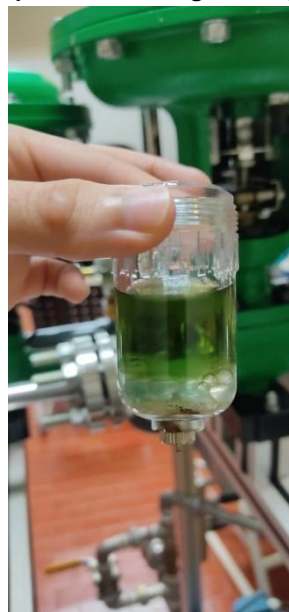
Contudo ainda sim foi notado a presença de outro problema, identificou-se excesso de óleo no sistema pneumático, desde o compressor até as válvulas posicionadoras. Após a inspeção constatou que os recipientes dos filtros reguladores das válvulas e também o do compressor além de estarem com volume além do indicado estavam bastante sujos e do compressor além de sujo contaminado. As Figuras 70, 71 e 72 mostram a situação dos recipientes.

Figura 71: Recipiente Filtro Regulador



Fonte: Autor

Figura 70: Recipiente Filtro Regulador (Contaminado)



Fonte: Autor

Figura 72: Recipiente Filtro Compressor



Fonte: Autor

A partir dessas manutenções, estabeleceu também a necessidade de uma inspeção preventiva diária conforme a operação da planta, mas estimando em setenta e duas horas contínuas para a troca de óleo (se necessário) e limpeza dos recipientes.

O problema anterior levou a necessidade de realizar outras manutenções, onde os próprios filtros como os posicionadores das válvulas ficaram encharcados de óleo sendo necessário a limpeza deles, e também houve a corrosão das juntas de vedação ocorrendo assim vazamento de ar do sistema pneumático. Dessa forma foi necessário a obtenção de novas juntas e realização da limpeza nos posicionadores e filtros reguladores internamente, como mostra as Figuras 73, 74 e 75.

Figura 73: Inspeção e Limpeza do Posicionador



Fonte: Autor

Figura 74: Filtros Reguladores



Fonte: Autor

Figura 75: Junta de Vedação com Desgastes

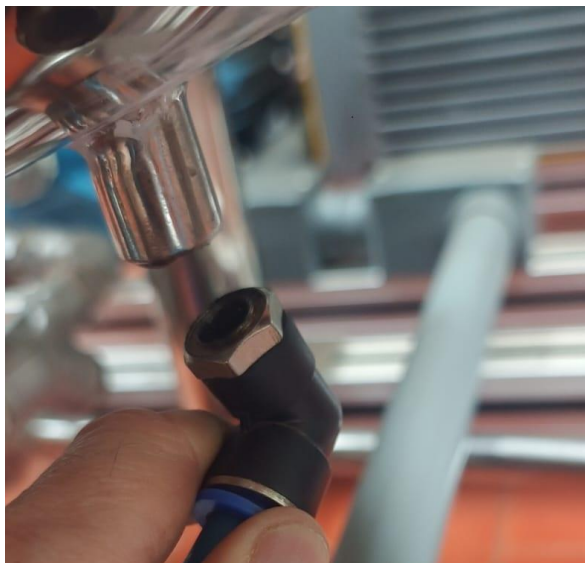


Fonte: Autor

Com a manutenção realizada, o sistema pneumático voltou a funcionar normalmente, assim de acordo com as manutenções realizadas levando em questão que ocorreu mais de uma, foi estimado uma abordagem preventiva de seis em seis meses acompanhada de inspeções periódicas diárias para identificar vazamentos de ar ou falhas nos equipamentos

Apesar da utilização da planta didática não ser em tempo integral em todos os dias do período letivo, mas sim acompanhando a evolução de algumas disciplinas dos cursos oferecidos no IFG, foi possível observar que embora seja injetado água limpa para os processos nos tanques, há um grande acúmulo de sujeira e incrustações dentro dos tanques devido os minerais presentes na água, colaborando para a degradação das tubulações visto que não são de PVC, com isso ocorreu um dano permanente da tomada de pressão alta do instrumento de nível presente no tanque inferior, onde houve a quebra do rosqueamento do mesmo devido a ferrugem, sendo necessária a troca do mesmo e a limpeza do tanque, como exibem as Figura 76 e 77.

Figura 76: Tomada de Nível Quebrada na Base do Tanque



Fonte: Autor

Na Figura 77 é possível observar a ferrugem e corrosão dentro da rosca da tomada, sendo o principal motivo da quebra da conexão.

Figura 77: Ferrugem e Corrosão na Tomada de Nível



Fonte: Autor

Durante a operação geral da planta didática notou-se que uma das válvulas posicionadoras estava com abertura e fechamento fora dos limites inferior e superior, ou seja quando comandada para abrir, a mesma não abria totalmente, dessa forma foi necessário uma intervenção ajustando o “zero” do equipamento, conforme mostra a figura 78.

Figura 78: Ajuste Valvula Posicionadora

Fonte: Autor

Observou-se também que a planta em si durante seu funcionamento gera vibrações o que vem causa alguns problemas no sistema elétrico, no qual suas conexões são feitas por terminais parafusados nos dispositivos, dessa forma a vibração faz com que ocorra desparafusamento e em alguns casos a desconexão nos dispositivos, diante disso se fez a necessidade de uma inspeção e reaperto nas conexões do painel elétrico e também do CLP, como mostra a imagem 79 e 80.

Figura 79: Conexões CLP

Fonte: Autor

Figura 80: Conexões Pannel Elétrico

Fonte: Autor

5. CAPÍTULO – PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO

Com base na análise teórica e no levantamento detalhado dos componentes da planta didática DLB CP003-UA, este capítulo apresenta uma proposta estruturada de plano de manutenção preventiva. O plano foi desenvolvido para garantir a operacionalidade, a confiabilidade e a segurança dos equipamentos, considerando as particularidades de um ambiente acadêmico, onde os equipamentos possuem um regime de uso intermitente.

As diretrizes a seguir foram elaboradas a partir de dados técnicos dos manuais dos fabricantes, consulta a profissionais da área e estimativas baseadas em boas práticas de manutenção industrial, uma vez que muitos componentes são relativamente novos e carecem de um histórico consolidado de falhas. O objetivo é oferecer um guia prático e organizado, detalhando as operações, ferramentas necessárias, frequência recomendada e custos estimados para cada intervenção.

As seguintes figuras (59, 60, 61, 62, 63 e 64) representam o plano de manutenção desenvolvido, com os seguintes dados: Equipamento, Descrição da Operação, Materiais Utilizados, Frequência, TPR[h] (Tempo para Reparo) e Custos.

Figura 81: Tabela Plano de Manutenção (pg1)

PLANO DE MANUTENÇÃO (PREVENTIVO)					
Equipamento	Descrição da Operação	Ferramentas e Máquinas Utilizada	Frequência	TPR[h]	Custo[\$]
Aquecedor	Troca da Resistencia	Chaves de Manutenção externa, alicate	Quando Necessário	4,0	R\$ 270,25
	Terminais Oxidados	Lixa, Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Anual	1,0	R\$ 100,00
Bomba de Agua	Rolamentos com Desgaste	Chaves de Manutenção externa, alicate, extrator de rolamentos, graxadeira	Anual	8,0	R\$ 100,00
	Obstrução hidráulica	Chaves de Manutenção externa, alicate, ferramentas de limpeza (escovas, ar comprimido)	Quando Necessário	6,0	R\$ 150,00
	Queima (Rebobinamento)	Ferramentas elétricas, multímetro, máquina de rebobinar (Serviço Especializado)	Quando Necessário	24,0	R\$ 800,00
	Inspeção Geral da Bomba	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Mensal	1,0	R\$ 35,00
Compressor de Ar	Verificar nível do óleo lubrificante (LS-04) / Completar	Óleo lubrificante, funil, panos	Diária	0,5	R\$ 372,50
	Drenar água do reservatório de ar / filtro de linha	Recipiente para coleta de água e luvas	Diária	1,0	R\$ 35,00
	Troca dos Kits retenção, filtro de ar e vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, kits de reposição	Triannual	6,0	R\$ 1.010,00
	Inspeção geral Compressor	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Mensal	2,0	R\$ 35,00
	Vazamento no reservatório (solda/vedação)	Soldador, ferramentas de vedação, lixa (Serviço Especializado)	Quando Necessário	8,0	R\$ 215,00
	Substituição ou calibração de válvula de segurança	Chaves de Manutenção externa, alicate, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 280,00
Radiador	Limpeza	Escovas, ar comprimido, panos	Semestral	0,5	R\$ 17,50
	Troca do Ventilador	Chaves de Manutenção externa, alicate, novo ventilador	5 Anos	1,0	R\$ 150,00
	Inspeção Eletrica e Visual	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Mensal	2,0	R\$ 70,00

Fonte: Acervo Autor

Figura 82: Tabela Plano de Manutenção (pg2)

Válvula Solenoide	Limpeza	Escovas, ar comprimido, panos	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Substituição do kit de vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, kit de vedação	2 Anos	3,0	R\$ 255,00
	Substituição da bobina do solenoide	Chaves de Manutenção externa, alicate, nova bobina	4 Anos	2,0	R\$ 190,00
FV1 e FV2 (Válvula Posicionadora)	Limpeza Filtros	Escovas, ar comprimido, panos	Mensal	0,5	R\$ 17,50
	Limpeza Posicionador	Escovas, ar comprimido, panos	Semestral	2,0	R\$ 35,00
	Troca Filtros	Chaves de Manutenção externa, alicate, novos filtros	Anual	3,0	R\$ 250,00
	Troca de Vedação Posicionador	Chaves de Manutenção externa, alicate, kit de vedação	2 Anos	2,0	R\$ 250,00
	Ajustes de Zero	Chaves de Manutenção externa, alicate	Quando Necessário	1,0	R\$ 35,00
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Mensal	1,0	R\$ 35,00
Válvula Bidirecional / Bidirecional	Reapertos	Chaves de Manutenção externa, alicate	Quando Necessário	0,5	R\$ 17,50
	Verificação de Vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, veda rosca	Mensalmente	0,5	R\$ 17,50
CLP	Verificação dos Conectores	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Limpeza Paineis	Pincel, ar comprimido, panos	Quando Houver Acumulo de Pó	0,5	R\$ 17,50
	Teste de Conexões	Multímetro, ferramentas de teste	Se Houver Falha	3,0	R\$ 105,00
	Rompimento de Cabo	Alicate, estilete, ferramentas de crimpagem	Se Houver Falha	5,0	R\$ 175,00
	Substituição de Módulos	Chaves de Manutenção externa, alicate, novos módulos	Quando Necessário	1,0	R\$ 1.110,00
Inversor de Frequência	Substituição Cooler Interno	Chaves de Manutenção externa, alicate, novo cooler	Quando Necessário	2,0	R\$ 155,00
	Verificação de Conectores	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	1,0	R\$ 35,00

Fonte: Acervo Autor

Figura 83: Tabela Plano de Manutenção (pg3)

IHM	Verificação de Conectores	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Troca de Tela (LED, Touch)	Chaves de Manutenção externa, alicate, nova tela	Quando Necessário	3,0	R\$ 830,00
Módulo mestre de rede IOLink para Profibus DP	Reaperto Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Semanal	1,0	R\$ 35,00
Multimedidor Eletrônico	Reaperto de Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Semanal	1,0	R\$ 35,00
Transmissor de Temperatura SMAR (PT-100)	Calibração	Multímetro, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 35,00
	Verificação de Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Mensal	1,0	R\$ 35,00
Transmissor por Diferencial de Pressão P DSIII (Vazão)	Calibração	Multímetro, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 35,00
	Verificação de Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro e luvas de proteção	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Mensal	1,0	R\$ 35,00
Transmissor por Diferencial de Pressão P DSII (Nível)	Calibração	Kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 35,00
	Verificação de Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro e luvas de proteção	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Mensal	1,0	R\$ 35,00

Fonte: Acervo Autor

Figura 84: Tabela Plano de Manutenção (pg4)

Transmissor por Pressão P DSIII	Calibração	Multímetro, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 35,00
	Verificação de Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Mensal	1,0	R\$ 35,00
Manômetros	Inspeccionar Precisão	Multímetro, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 35,00
	Verificação da Vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
Rotâmetro	Inspeccionar Precisão	Multímetro, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 35,00
	Verificação da Vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, veda rosca	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
Transmissor de temperatura IOLink	Reaperto Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna e luvas de proteção	Semanal	1,0	R\$ 35,00
Transdutor de Pressão TP-01	Inspeção Visual e Funcional	Analisar Funcionamento	Semestral	0,5	R\$ 17,50
	Calibração Funcional	Multímetro, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 35,00
	Limpeza do Transdutor	Escovas, ar comprimido, panos	Quando Necessário	2,0	R\$ 70,00
Sensor de Nível Hidrostático	Calibração	Multímetro, kit de calibração	Anual	2,0	R\$ 70,00
	Limpeza do Sensor	Escovas, ar comprimido, panos	Quando Necessário	1,0	R\$ 35,00
	Verificação dos Conectores	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
Sensores de Nível tipo boia	Verificação de Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Verificação Vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, veda rosca	Trimestral	0,5	R\$ 17,50

Fonte: Acervo Autor

Figura 85: Tabela Plano de Manutenção (pg5)

Sensor de Nível tipo haste	Verificação de Conexão	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Verificação de Vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, veda rosca	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
Botão de Emergência	Inspeção Funcional	Analisar Funcionamento	Diária	0,5	R\$ 17,50
	Troca do Componente	Chaves de Manutenção externa, alicate, novo botão	Quando Necessário	0,5	R\$ 17,50
Termostato de Segurança	Inspeção Funcional	Analisar Funcionamento	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Verificação de Vedação	Chaves de Manutenção externa, alicate, veda rosca	Anual	0,5	R\$ 17,50
	Teste de Atuação	Multímetro, kit de teste	Semestral	0,75	R\$ 176,50
Pressostato de Segurança	Teste de Atuação	Multímetro, kit de teste	Semestral	0,75	R\$ 151,25
	Ajuste no Ponto de Atuação (Caso Desregulado)	Chaves de Manutenção externa, alicate, multímetro	Quando Necessário	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Visual e Elétrica	Multímetro, lanterna	Trimestral	0,5	R\$ 35,00
Torre de Sinaleiro	Inspeção Funcional	Analisar Funcionamento	Diária	0,5	R\$ 17,50
	Inspeção Elétrica	Multímetro, lanterna	Semanal	1,0	R\$ 35,00
Válvula de Alívio e Segurança	Inspeção Visual	Lanterna	Trimestral	0,5	R\$ 17,50
	Teste Funcional (Especializado)	Equipamento de teste especializado	Anual	0,5	R\$ 137,50
	Calibração	Multímetro, kit de calibração	Anual	1,0	R\$ 17,50
Tanques	Inspeção Visual	Lanterna	Diária	1,0	R\$ 35,00
	Inspeção Interna	Lanterna, ferramentas de inspeção	Bienal	8,0	R\$ 280,00
	Reaperto de Conexões	Chaves de Manutenção externa, alicate	Semestral	2,0	R\$ 70,00
	Teste Hidrostático (Especialista)	Equipamento de teste hidrostático (Serviço com Especializado)	5 Anos	24,0	R\$ 1.640,00
	Troca da Água	Mangueiras	Mensal	1,0	R\$ 35,00

Fonte: Acervo Autor

6. CAPITULO – CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um conjunto de métricas e estratégias de manutenção aplicáveis à planta didática industrial DLB CP003-UA, localizada no IFG – Campus Itumbiara. Essa proposta se alicerçou na necessidade de integrar conhecimentos teóricos da engenharia de controle e automação à prática sistemática de manutenção, contribuindo não apenas para o aprendizado técnico, mas também para o fortalecimento de boas práticas operacionais em ambientes de ensino aplicados à simulação de processos industriais.

Inicialmente, foi realizada uma ampla revisão teórica sobre os principais conceitos, tipos e abordagens de manutenção industrial, destacando-se os modelos corretivo, preventivo e preditivo, além de seus desdobramentos contemporâneos. Foram apresentados também os principais indicadores de desempenho utilizados mundialmente na área de manutenção, como TMEF (Tempo Médio Entre Falhas), TMPR (Tempo Médio para Reparo), MTTF (Tempo Médio para Falha), disponibilidade e custos relacionados à manutenção. Esse embasamento teórico serviu como base sólida para a implementação prática da metodologia adotada.

A partir do levantamento detalhado da planta didática, foram catalogados seus principais componentes e sistemas, abrangendo dispositivos elétricos, pneumáticos, hidráulicos e de instrumentação. Para cada equipamento, foram mapeados os possíveis modos de falha, seus tempos médios de intervenção, os custos estimados para manutenção e, com base nesses dados, foram calculados os índices de desempenho e elaborados diagramas de criticidade. Essa abordagem permitiu estabelecer uma visão abrangente e sistematizada da manutenção, mesmo em uma planta com tempo reduzido de operação e com ausência de histórico de falhas relevante.

A aplicação prática dos conceitos teóricos possibilitou não só a identificação de componentes críticos, como também a definição de uma rotina de manutenção racional, segura e eficiente, com base em critérios técnicos e econômicos. Ao elaborar tabelas de falhas, fluxogramas e índices específicos para cada componente da planta, este trabalho contribui diretamente para a criação de um plano de manutenção customizado à realidade do ambiente acadêmico, mas com aplicabilidade direta em plantas industriais reais.

Além disso, o processo de desenvolvimento deste trabalho proporcionou uma experiência significativa em relação à aplicação dos princípios de manutenção, gestão de ativos e análise de confiabilidade. A compreensão prática de conceitos como manutenibilidade, disponibilidade e análise de falhas foi aprimorada por meio do estudo real de equipamentos e de simulações de falhas na planta didática. Essa vivência representa um diferencial formativo importante para o futuro profissional da área de controle e automação.

Pode-se concluir que a implementação de estratégias de manutenção bem definidas, com base em dados técnicos e análises de criticidade, é essencial, para o bom funcionamento da planta didática. A existência de um plano estruturado de manutenção permite não apenas garantir a integridade e disponibilidade dos equipamentos, mas também maximizar o aprendizado dos estudantes, ao oferecer um ambiente mais próximo das condições e exigências da indústria. Este trabalho também abre caminhos para buscar um plano de manutenção melhorado, como melhorias na precisão de dados como a frequência ou até mesmo a adição de outros tipos de falhas. E também a integração de um software de acompanhamento como *power bi*, o qual tem tanto o programa como também o aplicativo, para acompanhamento de prazos das manutenções preventivas, como através de alertas predeterminados que avisam a equipe técnica.

REFERÊNCIAS

AIRZAP ANEST IWATA INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Manual de uso e manutenção**. Limeira: Airzap Anest Iwata Indústria e Comércio Ltda., 2021

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME VIII – Division 1: Boiler and Pressure Vessel Code**. New York: ASME, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO – ABRAMAN. **Histórico institucional**, 2021. Disponível em: <<https://abramanoficial.org.br/quem-somos/historico>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABRAMAN, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14105: Medidores de pressão – Especificações e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília: Ministério do Trabalho, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 13: Caldeiras, vasos de pressão e tubulações**. Brasília: Ministério do Trabalho, 2021.

CABINE MANUTENÇÃO. **Generalidades sobre manutenção industrial**. 2023. Disponível em: <<https://manutencaodecabine.com.br/generalidades-sobre-manutencao-industrial/>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

DE LORENZO, Brasil. **Manuais de Op., Estrutura e Comissionamento, e de Supervisão**. São Paulo, 2021.

EDGARD, Professor. **História da manutenção: como surgiu e por que surgiu a manutenção**, 2022. Disponível em: <<https://www.professoredgard.com/post/hist%C3%B3ria-da-manuten%C3%A7%C3%A3o-como-surgiu-e-porqu%C3%AA-surgiu-a-manuten%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

EDGARD, Professor. **Uma breve história da manutenção**, 2022. Disponível em: <<https://www.professoredgard.com/post/uma-breve-historia-da-manutencao>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. **ISA S75.19: Control Valve Capacity Test Procedures**. Research Triangle Park: ISA, 2007.

MORTELARI, Denis; SIQUEIRA, Kleber; PIZZATI, Nei. **O RCM na Quarta Geração da Manutenção: a moderna gestão de ativos**. 3. ed. São Paulo: RG Editores, 2019.

NIEBEL, Benjamin W. **Engineering Maintenance Management**. New York: Marcel Dekker, 1994.

PINTO, Marcelo S. **Aplicação da Manutenção Produtiva Total (TPM) em um processo de beneficiamento de grãos**. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – SBPO**, 2013, Natal. Anais... Natal: UEM, 2013. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

POOR, P.; ŽENÍŠEK, D.; BASL, J. Historical overview of maintenance management strategies: development from breakdown maintenance to predictive maintenance in accordance with four industrial revolutions. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT**, 2019, Pilsen. Proceedings... Pilsen: IEOM, 2019. p. 495–504.

RODRIGUES, Marcelo. **Gestão da manutenção elétrica, eletrônica e mecânica**. 1. ed. Curitiba: Base Editorial / IBEP, 2010. 128 p.

SANTOS, Rafael de A. **Atividade final – Planejamento e controle da manutenção**. Universidade Anhanguera, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/25336/1/atividade+final.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SILVA, Tamires. **Planejamento da manutenção durante a fase de projeto da planta**. Indústria Projetada, [2021?]. Disponível em: <<https://industriaprojetada.com.br/planejamento-da-manutencao-durante-a-fase-de-projeto-da-planta/>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SOUZA, Kellen. **Estudo de Caso 2: Plano Manutenção preventiva**. Passei Direto, 2021. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/87798040/manutencao-preventiva-em-parceria-com-kellen-souza-kellen-sz>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

VIANA, H. R. G. **Manual de Gestão da Manutenção**. Brasília: ENGETELES Editora, 2020.

VOLKEN, Elisandro. **Proposta de Plano de Manutenção Industrial, Para Empresa do Setor Moveleiro**. Gestão Universitária, ano. Disponível em: <<http://www.gestaouniversitaria.com.br/artigos/proposta-de-plano-de-manutencao-industrial-para-uma-empresa-do-setor-moveleiro>>. Acesso em: 23 jul. 2025.