

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

MORGANA MAHEIRIE DE ANDRADE

**ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS APLICADA ÀS BANCADAS
DIDÁTICAS DO LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA
DO IFSC**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

MORGANA MAHEIRIE DE ANDRADE

**ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS APLICADA ÀS BANCADAS
DIDÁTICAS DO LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA
DO IFSC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheira Mecatrônica.

Orientador:
Prof. Eduardo Yuji Sakurada, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Andrade, Morgana Maheirie de
Análise dos modos de falha e seus efeitos aplicada
às bancadas didáticas do Laboratório de Automação Hidráulica
e Pneumática do IFSC / Morgana Maheirie de Andrade;
orientação de Eduardo Yuji Sakurada. - Florianópolis,
SC, 2025.

59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento
Acadêmico de Metal Mecânica.

Inclui Referências.

1. Engenharia mecatrônica. 2. Mecânica. 3. Pneumática.
4. FMEA. I. Sakurada, Eduardo Yuji. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. III. Análise dos modos de
falha e seus efeitos aplicada às bancadas didáticas
do Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática do
IFSC.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS APLICADA ÀS BANCADAS DIDÁTICAS DO LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA DO IFSC

MORGANA MAHEIRIE DE ANDRADE

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 21 de julho de 2025.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDO YUJI SAKURADA**
Data: 01/08/2025 19:56:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Eduardo Yuji Sakurada, Dr. Eng.

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO NIEHUES SCHLICKMANN**
Data: 01/08/2025 19:42:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Marcelo Niehues Schlickmann, Dr. Eng.
IFSC

Documento assinado digitalmente
 **TAYLOR SOARES ROSA**
Data: 01/08/2025 23:07:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Taylor Soares Rosa, Me. Eng.
IFSC

A todos que vivem em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha mãe, por todo o apoio e incentivo durante toda a minha trajetória de vida. És a minha maior inspiração para tudo, meu exemplo de como ser uma mulher, enfrentando o que for necessário com um posicionamento sensato e um sorriso no rosto. Obrigada por me trazer conforto e descontração, sem julgamentos, cada vez que eu sofri estudando para alguma prova e, por comemorar comigo os resultados, independente de quais fossem. Por ter me apresentado à vida e ao mundo da mecânica.

Agradeço a Deus, Nossa Senhora Aparecida, minha família e meus antepassados pela proteção.

Agradeço aos professores que fizeram parte do meu desenvolvimento acadêmico, desde a educação infantil até hoje, que respeitaram e afluaram a minha curiosidade como pessoa, abrindo meus horizontes. Agradeço em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Eng. Eduardo Yuji Sakurada, por quem possuo uma afinidade natural e nutro um profundo respeito como engenheiro, ao Prof. Dr. Eng. Jean Paulo Rodrigues, que foi meu orientador de estágio e que ofereceu apoio em diversas situações e à Prof.^a Dr.^a Eng.^a Daniela Águida Bento Dallacosta por me fornecer respaldo técnico e referências bibliográficas maravilhosas.

Agradeço à minha poodle de 3 anos, Filó, por ser essa cachorrinha de bom humor que faz tudo por um pedaço de alface.

Agradeço aos meus colegas. Especialmente, aos meus veteranos e aos bolsistas de laboratório que auxiliaram em diversas atividades e projetos, muitas vezes permanecendo em horários extraclasse para ajudar.

Agradeço pelas gargalhadas que a convivência entre engenheiros e futuros engenheiros me proporcionaram.

Agradeço pelas amizades e pelos amores.

"A mecânica é o paraíso das ciências matemáticas,
uma vez que por meio dela obtém-se o fruto matemático."
(Leonardo da Vinci)

RESUMO

A aplicação da metodologia FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis* - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) na realidade do Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (LAHP - IFSC) é uma forma eficaz de rastrear a motivação por trás das falhas nos componentes utilizados nas bancadas didáticas do laboratório. A fim de determinar a melhor forma de gestão de manutenção do LAHP, o presente estudo de caso faz uma breve revisão bibliográfica sobre os estudos de Análise de Modos de Falha e seus Efeitos. Após a delimitação dos conceitos e estudo dos funcionamento dos itens inspecionados, os testes com os componentes (válvulas direcionais, atuadores e sensores de fim de curso) serviram como amostra qualitativa, embasando as conclusões sobre a análise de falha. O estudo preliminar demonstrou que no caso das válvulas eletropneumáticas o defeito mais comum é o carretel travado, seguido por queima do solenoide.

Palavras-chave: Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Pneumática. Mecânica. Engenharia.

ABSTRACT

The application of the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) methodology in the reality of the Hydraulic and Pneumatic Automation Laboratory of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Santa Catarina (LAHP - IFSC) is an effective way of tracking the motivation behind failures in components used in laboratory teaching benches. In order to determine the best way to manage LAHP maintenance, this case study makes a brief bibliographic review on studies analyzing failure modes and effects. After delimiting the concepts and studying the functioning of the inspected items, tests with the components (directional valves, actuators and limit switches) served as a qualitative sample, supporting the conclusions about the failure analysis. The preliminary study demonstrated that in the case of electro-pneumatic valves the most common defect is the locked spool, followed by solenoid burnout.

Keywords: Failure Modes and Effects Analysis. Pneumatic. Mechanics. Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os 4 tipos de FMEA	18
Figura 2 – Formulário PFMEA - Análise estrutural, funcional e de falha	21
Figura 3 – Formulário PFMEA - Análise de risco e otimização	21
Figura 4 – Formulário PFMEA - Otimização e métodos anteriores	22
Figura 5 – Válvula MFH-5-1/8	28
Figura 6 – Válvula JMFH-5-1/8	28
Figura 7 – Válvula solenoide em corte	28
Figura 8 – Atuador normalizado DSNU-20-100-PPV-A	29
Figura 9 – Atuador - vista em corte	29
Figura 10 – Haste do atuador DSNU-20-100-PPV-A	30
Figura 11 – <i>Limit switches</i> modelos 183345 e 183322	30
Figura 12 – Acionamento do <i>limit switch</i> modelo 183322	31
Figura 13 – Verificação do campo eletromagnético do solenoide	33
Figura 14 – Teste padrão da válvula eletropneumática em bancada	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Índice de severidade (S)	24
Quadro 2 – Índice de ocorrência (O)	25
Quadro 3 – Índice de detecção (D)	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAMM	Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica
DFMEA	FMEA de <i>design</i> ou de projeto
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos)
FMEA-MSR	FMEA suplementar para monitoramento e resposta do sistema
IFSC	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
LAHP	Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática
PFMEA	FMEA de execução de processo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	13
1.2	Definição do Problema	14
1.3	Objetivo Geral	14
1.4	Objetivos Específicos	14
1.5	Estrutura do Trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Conceitos de FMEA: Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos	16
2.2	Aplicação de FMEA sob o viés da AIAG & VDA	19
2.2.1	Formulário FMEA	20
3	ESTUDO DE CASO	27
3.1	Descrição dos componentes	27
3.1.1	Válvula solenoide	27
3.1.2	Atuador normalizado	29
3.1.3	Roleta - Sensor de fim de curso	30
4	METODOLOGIA	32
5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	35
5.1	Análise e discussão dos resultados	35
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICES	41
	APÊNDICE A – PFMEA DAS VÁLVULAS	42
	APÊNDICE B – PFMEA DOS ATUADORES	46
	APÊNDICE C – PFMEA DOS SENSORES DE FIM DE CURSO	50
	ANEXOS	53
	ANEXO A – DIAGRAMA DOS 4 TIPOS DE FMEA	54
	ANEXO B – FORMULÁRIO DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS	55

1 INTRODUÇÃO

O cerne do presente estudo de caso é a realização da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos nos componentes das bancadas didáticas do Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática (LAHP) do IFSC. O LAHP possui um número considerável de componentes que foram fadados ao desuso por defeitos não identificados.

A Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos é um segmento importante no mundo da Engenharia Mecânica, que trata de descobrir a motivação por trás dos defeitos que componentes mecânicos apresentam durante seu ciclo de vida. Há diversos estudos bibliográficos disponíveis sobre este tipo de estudo.

Análise dos modos e efeitos de falha (FMEA) é um procedimento simples para determinar sistematicamente possíveis falhas de uma estrutura ou processo em fase de projeto a fim de evitá-las ou eliminá-las. A ideia central é que a prevenção de falhas é melhor e mais barata que detecção de falhas de forma tardia e seus custos de reparo. O termo falha significa aqui a perda do objeto de performar suas funções de forma apropriada. [tradução livre] (Mencík, 2016, p. 1)

Apesar da fase ideal de aplicação do método ser durante o projeto, a análise de falhas é eficaz em todas as etapas do ciclo de vida de um produto e somente um estudo atento é capaz de perceber a motivação das falhas, que, muitas vezes, não foram previstas pelos próprios projetistas. Como Sakurada (2001) afirma: o *feedback* de campo é uma ferramenta de grande valia na confiabilidade.

A viabilidade do estudo de caso já se mostrou eficaz durante a realização do estágio curricular obrigatório da autora, que durante meses testou principalmente válvulas direcionais. O resultado preliminar foi de que os defeitos mais comuns foram: carretel travado e solenoide queimado, respectivamente (Andrade, 2025).

1.1 Justificativa

A metodologia FMEA ampara casos semelhantes ao do Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática: locais de trabalho nos quais a gestão de manutenção possui o obstáculo de registrar as falhas de forma que seja possível rastreá-las, identificá-las e evitá-las.

Por se tratar de um laboratório com muitas aulas práticas e por ser utilizado por todo o Departamento de Metal-Mecânica, descobrir a origem dos problemas que causam a perda de materiais de consumo, além de tentar repará-los de alguma forma, é uma maneira de poupar recursos financeiros da instituição, possibilitando que esse valor possa ser revertido em novas bancadas e outros dispositivos.

Além disso, o presente estudo não terá custo financeiro para a instituição, pois trata da análise de componentes que seriam descartados. A infraestrutura necessária para os testes de bancada dos componentes está disponível no LAHP.

1.2 Definição do Problema

O LAHP conta com bancadas didáticas de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos da fabricante Festo. Os componentes de consumo são, por exemplo: válvulas direcionais, atuadores e sensores de fim de curso.

No laboratório, há um gaveteiro repleto de componentes defeituosos, alguns por mau uso, outros por tempo de vida, a motivação é incerta. Mas esses componentes foram guardados com o intuito de serem reservados a estudos de manutenção. O presente TCC é o pioneiro nessa linha de estudo no LAHP, porém outros estudos semelhantes foram realizados no IFSC Câmpus Florianópolis. Ao aplicar o método FMEA, não somente os motivos das falhas serão determinados, como também há possibilidade de ampliação da vida útil dos equipamentos.

Os componentes com defeito serão catalogados e submetidos a diferentes testes de bancada. Após essa etapa, os resultados dos testes serão registrados e analisados. Logo, o estudo de caso se embasará na revisão bibliográfica e nos resultados obtidos.

1.3 Objetivo Geral

Realizar a análise de falha dos componentes utilizados nas bancadas didáticas do Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática (LAHP) do IFSC, aplicando o método FMEA.

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) realizar um levantamento bibliográfico sobre a metodologia FMEA;
- b) estudar o princípio de funcionamento dos equipamentos;
- c) testar os componentes que apresentam defeitos, de forma a identificar o motivo;
- d) registrar e analisar os dados encontrados;
- e) aplicar o método FMEA; e,
- f) realizar a manutenção nos componentes de consumo em que o defeito for passível de correção.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente TCC apresenta cinco capítulos: o primeiro é introdutório - apresentando o tema, justificativa, definição do problema e objetivos; o segundo capítulo trata da fundamentação teórica, discorrendo sobre os conceitos de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos; o terceiro capítulo discursa sobre o estudo de caso e os princípios de funcionamento das válvulas direcionais, atuadores e sensores de fim de curso; o quarto capítulo descreve a metodologia do estudo de caso; o quinto capítulo trata da apresentação dos resultados; e, por fim, o sexto capítulo realiza a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo, os conceitos de FMEA serão abordados, principalmente sob o viés do uso dos produtos, para elucidar a teoria por trás da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos.

2.1 Conceitos de FMEA: Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos

Historicamente, o surgimento da metodologia FMEA é incerto, porém traçado por volta da década de 1940. Com ligação intrínseca às corporações militares estadunidenses, surgiu com o intuito de padronizar as operações militares (Jing, 2024).

Para o Brasil, segundo o principal documento nacional sobre a metodologia - NBR 5462 -, FMEA trata-se de:

Método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de pane que podem existir para cada subitem, e a determinação dos efeitos de cada modo de pane sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994, p. 14)

Esse conceito é muito abrangente, deixando margem para múltipla interpretação e não demonstra como executá-lo.

No âmbito internacional, tem-se dois principais documentos norteadores: SAE J1739 e *AIAG & VDA FMEA Handbook*. A SAE é a Sociedade de Engenheiros Automotivos, criada pelos EUA, e hoje conta com unidades em diversos países, incluindo o Brasil. Já a AIAG é *Automotive Industry Action Group* ("grupo de ação da indústria automotiva") e VDA vem do alemão *Verband der Automobilindustrie*, ou seja, "Associação da Indústria Automotiva". O primeiro é mais representativo para as empresas americanas, enquanto a presença do segundo é massiva no continente europeu. O documento unificado busca apresentar de forma esclarecedora os passos a serem seguidos na implementação do FMEA, de forma alinhada à norma SAE J1739 vigente à época (AIAG & VDA, 2019).

A FMEA [...] tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo. (Fogliato, 2009, p. 172)

Dos três objetivos que compõem a FMEA, o que encontra maior resistência é a documentação. Muitas vezes é interpretada como uso inadequado do tempo de trabalho, a dificuldade da desconstrução dessa mentalidade no ambiente industrial é

um obstáculo para o sucesso da implementação da FMEA. A metodologia é consolidada através da presença constante, não somente em consultorias. Os operadores muitas vezes são os indivíduos da organização que possuem os dados necessários para identificar a falha. Portanto, a comunicação - tanto vertical (entre funcionários de diferentes níveis hierárquicos) quanto horizontal (colaboradores do mesmo nível hierárquico) - deve ser incentivada.

Para utilização da metodologia FMEA, é necessária a delimitação do significado dos termos de forma esclarecida. Definem-se:

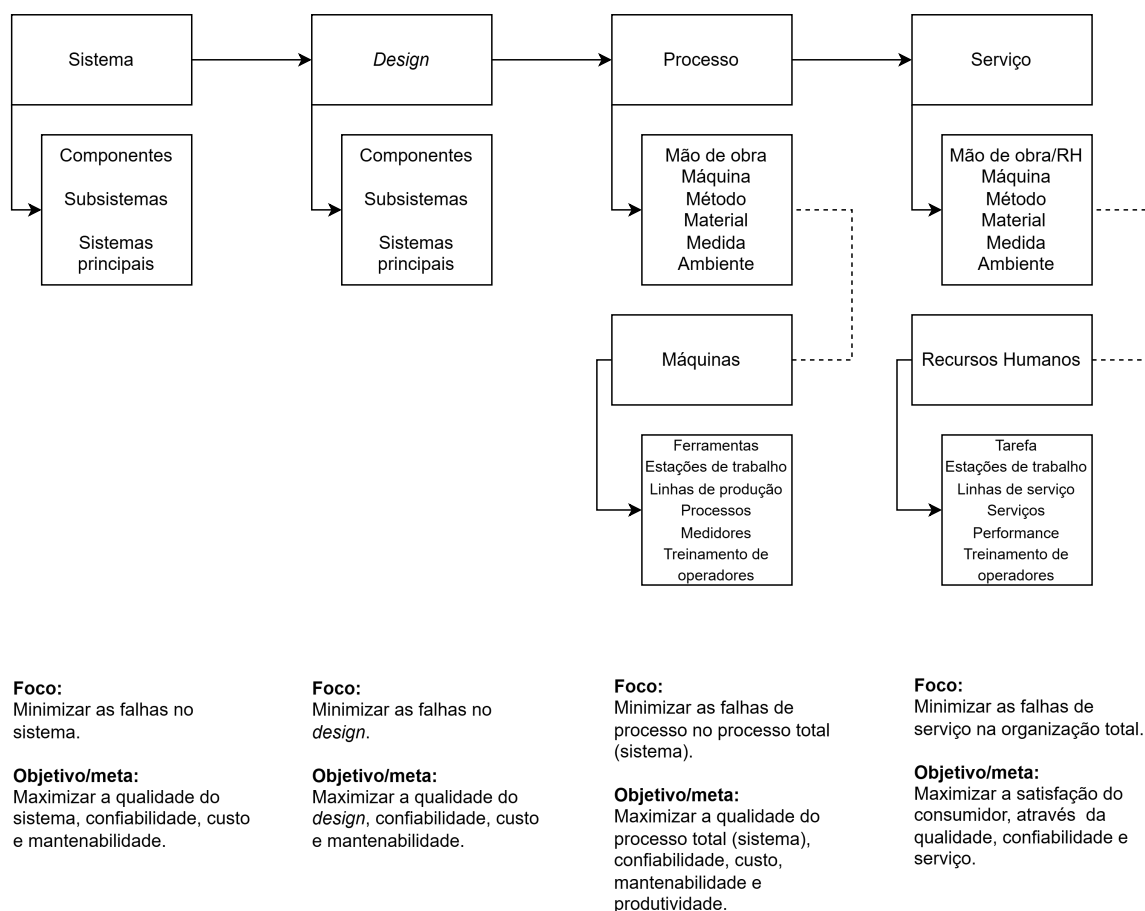
- a) Modo de falha "[...] é um estado anormal de trabalho, a maneira que o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece as especificações"(Sakurada, 2001, p. 49).
- b) Efeito "[...] é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema"(Sakurada, 2001, p. 50).
- c) Causas"[...] do modo de falha são os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, podem estar nos componentes da vizinhança, fatores ambientais, erros humanos, ou no próprio componente"(Sakurada, 2001, p. 51).

Portanto, sabe-se que os modos de falha variam de acordo com a natureza de cada componente e suas funções e se apresentam de forma diversa. Os materiais, o ambiente de trabalho, a qualidade e os processos de fabricação influenciam nas formas de modos de falha, que afetam componentes e subsistemas. Já o efeito é percebido de forma externa, englobando o sistema todo (Sakurada, 2001).

Por exemplo, para uma válvula direcional eletropneumática, o modo de falha poderia ser: bobina elétrica queimada, carretel travado, conector elétrico avariado etc. Já os efeitos correspondentes seriam: o LED não acende, a válvula não comuta, a válvula não é energizada etc. As causas, por sua vez, poderiam ser: desgaste dos componentes, ambiente de trabalho com muitas impurezas, mau uso etc.

Devido à diversidade de aplicações do método, a FMEA pode ser aplicada em diferentes tipos de situações. Tendo isso em vista, Stamatis (2003) separou a metodologia em 4 tipos: Sistema, *Design*, Processo e Serviço (Figura 1 e Anexo A).

Figura 1 – Os 4 tipos de FMEA



Fonte: Adaptado de Stamatis (2003).

Resumidamente, a FMEA de sistema é correlacionada com o projeto conceitual, analisando o sistema como um todo; a de *design* tem enfoque no projeto praticamente finalizado, mas antes do início da manufatura; a FMEA de processo analisa os processos de manufatura e manutenção; enquanto, a FMEA de serviço analisa os serviços antes que cheguem ao consumidor, eliminando os erros presentes no processo ou sistema (Stamatis, 2003).

Já para a Ford Production System (1996), a metodologia subdivide-se em: FMEA conceitual, FMEA de *design*, FMEA de maquinário e FMEA de processo. A FMEA de maquinário analisa as máquinas, equipamentos e ferramentas voltadas à produção de componentes personalizados. Isso mostra a versatilidade da metodologia quanto à sua aplicação, sendo um destaque na indústria automobilística.

Tanto Stamatis (2003) quanto Sakurada (2001) ressaltam a possibilidade do uso de FMEA em conjunto com outras metodologias. O uso de diversas metodologias para diminuição e eliminação de falhas é bastante incentivado. Pois cada método pode contemplar diferentes aspectos do processo para cada tipo de sistema.

Um dos pontos cruciais para o sucesso da FMEA é a formação do time/e-

quipe de engenheiros. A equipe é apontada por Stamatis (2003) como "a base da melhoria". Ou seja, é a partir do conhecimento acumulado que a equipe possui e de sua sinergia que as questões e problemas são definidos, o que culmina em um *brainstorming* (proposição de ideias e sugestões de forma livre) que, após deliberação a partir das soluções apresentadas, leva ao processo decisório da equipe (Sakurada, 2001).

2.2 Aplicação de FMEA sob o viés da AIAG & VDA

Nesta seção, discorre-se sobre como implementar a Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos e o que consiste seu formulário (do que se trata cada uma das colunas e como preenchê-las), de acordo com AIAG & VDA (2019).

Para implementar a Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, é importante seguir os seguintes procedimentos, segundo Sakurada (2001):

- a) escolha dos membros da equipe;
- b) definição do sistema e seus componentes;
- c) elaboração do diagrama funcional de blocos, fluxograma(s) ou modelo(s) confiabilístico(s), mostrando a interação entre as partes do sistema;
- d) descrição das funções dos componentes, preferencialmente pelo próprio projetista;
- e) estudo e identificação dos modos de falha;
- f) estudo e identificação de seus efeitos;
- g) avaliação dos efeitos e análise das causas dos modos de falha; e, por fim,
- h) revisão do formulário e seleção das ações principais.

Estes procedimentos são praticamente idênticos aos indicados na norma militar dos Estados Unidos MIL-STD-1629A, que trata dos métodos FMECA e FMEA. O Departamento de Defesa dos EUA (1980) classifica o índice de severidade em quatro categorias: catastrófica (I), crítica (II), marginal (III) e mínima (IV).

A documentação resultante da FMEA é uma planilha, há empresas que utilizam um modelo personalizado. Fogliato (2009) apresenta um exemplo que possui: cabeçalho, item/função, modos potenciais de falha, efeitos potenciais de falha, índice de severidade, classificação, causas/mecanismos potenciais de falha, ocorrência, controles de prevenção e detecção, risco, ações recomendadas, responsável e data para a ação, ações efetuadas e risco resultante. Outros autores e diferentes normas possuem colunas semelhantes, em maior ou menor número, conforme a necessidade.

Por uma questão de fidelidade com o quadro industrial atual, o modelo de FMEA empregado será norteado pela versão de 2019 do *AIAG & VDA FMEA Handbook*.

2.2.1 Formulário FMEA

Esta subseção se dedica a elucidar em que consiste o conteúdo do formulário de FMEA, visando a documentação de forma eficiente e organizada.

Como dito anteriormente, o formulário FMEA possui variações de acordo com a fonte selecionada e com a etapa em que é aplicado. No caso de *AIAG & VDA* (2019), há três subdivisões da metodologia FMEA e, por consequência, três formulários distintos: DFMEA (FMEA de *design* ou projeto), PFMEA (FMEA de execução do processo) e FMEA-MSR (FMEA suplementar para monitoramento e resposta do sistema).

Sob o viés teórico, sabendo-se que o estudo foi realizado após o projeto conceitual e projeto detalhado, não cabe a aplicação de FMEA de sistema nem de *design* (projeto). Portanto, a DFMEA não seria eficaz na análise do caso do LAHP, por se tratarem de componentes já projetados e fabricados.

A FMEA suplementar para monitoramento e resposta do sistema (FMEA-MSR) é própria de sistemas que possuem aparato de monitoramento e resposta, como sistemas de controle automatizados. Não é a realidade dos experimentos do presente estudo. Os experimentos tiveram apenas a observação humana, sem sensores ou outros mecanismos de identificação de falha.

Sabe-se que as falhas foram identificadas no processo de uso, logo, a partir da FMEA de processo ou serviço, podem-se obter informações relevantes para o LAHP. Tendo isso em vista, a PFMEA é mais precisa para o estudo de caso do laboratório.

A análise de falha de PFMEA é norteada pelos 4Ms de outro método, chamado Diagrama de Ishikawa. Os 4Ms são: *Man* (mão de obra, operador de máquina, técnico de manutenção etc.), *Machine* (equipamento), *Material* (material de forma indireta, como óleo da máquina) e *EnvironMent* (condições ambientais, como calor, poeira, contaminação, iluminação e ruído) (*AIAG & VDA*, 2019).

As Figuras 2, 3 e 4, que serão apresentadas a seguir, são relacionadas aos formulários FMEA e terão suas informações descritas junto ao passo a passo da metodologia.

Figura 2 – Formulário PFMEA - Análise estrutural, funcional e de falha

[illegible]

Fonte: Adaptado de AIAG & VDA (2019).

Figura 3 – Formulário PFMEA - Análise de risco e otimização

Formulário PFMEA

Nome da empresa:

Local de manufatura:

Nome do cliente:

Modelo/Ano/Plataforma:

Objeto:

Data de início:

Data de revisão:

Equipe:

Nº ID PFMEA:

Responsável PFMEA:

Nível de confidencialidade:

Análise de risco

Controle de prevenção atual	O ²	Controle de detecção atual	D ³	PFMEA AP ⁴	Características especiais	Ação preventiva	Ação de detecção	Nome do responsável	Data prevista para concluir

Otimização

Fonte: Adaptado de AIAG & VDA (2019).

Figura 4 – Formulário PFMEA - Otimização e métodos anteriores

Formulário PFMEA

Nome da empresa:
 Local de manufatura:
 Nome do cliente:
 Modelo/Ano/Plataforma:

Objeto:
 Data de início:
 Data de revisão:
 Equipe:

Nº ID PFMEA:
 Responsável PFMEA:
 Nível de confidencialidade:

Otimização						Métodos anteriores			
Status	Ação tomada	Data de conclusão	S	O	D	Características especiais	PFMEA AP	RPN ⁵	(S x O)

⁵ Número de prioridade de risco, resultado da multiplicação entre os índices de severidade, ocorrência e detecção.

Fonte: Adaptado de AIAG & VDA (2019).

Segundo AIAG & VDA (2019), há 7 passos que compõem a metodologia FMEA de processos:

- a) **Planejamento e preparação (Passo 1):** representada na planilha das Figuras 2, 3 e 4 como o cabeçalho, indica o nome da empresa, local de manufatura, nome do cliente, modelo, nome do projeto de PFMEA, data de início, data da última revisão, a equipe envolvida, o número de identificação da PFMEA, o nome do responsável pela PFMEA e o nível de confidencialidade.
- b) **Análise estrutural (Passo 2):** representada na Figura 2, possui três colunas que indicam o item do sistema/subsistema/parte do elemento do processo ou o nome do processo; número da estação de trabalho do processo e nome do elemento em foco; e, a classificação do tipo de processo de trabalho do elemento, segundo os 4Ms de Ishikawa.
- c) **Análise funcional (Passo 3):** representada na Figura 2, possui três colunas que indicam a função do item de processo/sistema/subsistema/parte do elemento ou processo; função do passo do processo e características do produto; e, função do processo do elemento de trabalho e suas características, segundo os 4Ms de Ishikawa.

- d) **Análise de falha (Passo 4):** representada na Figura 2, apresenta 4 colunas - a primeira coluna elenca os efeitos da falha a partir do nível mais alto do elemento ou fim de uso; a segunda apresenta o índice de severidade (S); a terceira apresenta o modo de falha do elemento em foco; e, a quarta apresenta a causa de falha do próximo elemento inferior ou característica.
- e) **Análise de risco (Passo 5):** representada na Figura 3, com 7 colunas, descreve o atual controle de prevenção (PC) da causa de falha, o índice de ocorrência (O) da causa de falha, os atuais controles de detecção (DC) da causa de falha ou modo de falha, o índice de detecção (D) da causa de falha ou modo de falha, o PFMEA AP (prioridade de ação), características especiais e código de filtro (opcional).
- f) **Otimização (Passo 6):** representada na Figuras 3 e 4, possui 13 colunas - ação preventiva, ação de detecção, nome da pessoa responsável, data de conclusão prevista, *status*, ação tomada com indicação de evidência, data de conclusão, índice de severidade (S), índice de ocorrência (O), índice de detecção (D), características especiais, PFMEA AP (prioridade de ação) e observações.
- g) **Documentação dos resultados (Passo 7):** consiste em registrar os outros 6 passos da PFMEA na planilha e realizar o relatório interno para a empresa.

Nota-se que há alguns índices desenvolvidos especialmente para catalogar os modos de falha, seus efeitos e causas de forma, como o índice de severidade (S), o índice de ocorrência (O), o índice de detecção (D) e a prioridade de ação (AP). No *AIAG & VDA FMEA Handbook*, há uma descrição extensa do que consiste cada um desses índices e tabelas que mostram a quantificação e maneiras de classificação de cada um, com exemplos.

O índice de severidade (Quadro 1) varia de 1 a 10, esse número correlaciona a seriedade do efeito para um determinado modo de falha com um *ranking*, no qual o efeito mais grave seria o indicado pelo número 10 e representaria alto risco na segurança dos usuários. O número 1 indica um caso sem efeitos aparentes. A letra H significa *High* (alto), MH (*Moderately High*) é moderadamente alto, ML (*Moderately Low*) é moderadamente baixo, L (*Low*) é baixo e VL (*Very Low*) é muito baixo (AIAG & VDA, 2019).

Em comparação com a SAE J-1739 (Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, 1995), o índice de severidade não sofreu grandes atualizações. Mesmo após quase três décadas, o índice de severidade manteve o mesmo significado e é uma forma conservadora de demonstrar o impacto na

segurança e na operação que uma falha pode causar. A principal distinção é que, na nova norma, o quadro de índice de severidade possui três formas de analisar: a partir do impacto para a planta, a partir do impacto entre a entrega para o consumidor e abastecimento interno na fábrica (adaptação do inglês de "*ship-to plant*") e o impacto para o usuário (AIAG & VDA, 2019). Como o estudo de caso trata somente do usuário final, apenas essa coluna foi levada em consideração.

Quadro 1 – Índice de severidade (S)

S	Efeito	Impacto para o usuário
10	H	Afeta a segurança dos operadores.
9	H	Não está em conformidade com as regulações.
8	MH	Perda da função primária do elemento.
7	MH	Degradação da função primária do elemento.
6	ML	Perda da função secundária do elemento.
5	ML	Degradação da função secundária do elemento.
4	ML	Aparência, vibração e som muito questionáveis.
3	L	Aparência, vibração e som moderadamente questionáveis.
2	L	Aparência, vibração e som pouco questionáveis.
1	VL	Sem efeitos perceptíveis.

Fonte: Adaptado de AIAG & VDA (2019).

O índice de ocorrência (Quadro 2) representa a ocorrência das causas de falha, classificando de 1 a 10 a partir da previsão de ocorrência das causas de falha. A previsão de ocorrência é baseada no tipo de controle presente no momento da análise, com intuito de evitar as falhas, e nos possíveis controles de prevenção que podem ser utilizados no futuro (AIAG & VDA, 2019).

A previsão de ocorrência de causa de falha varia entre EH (*Extremely High* - extremamente alta), VH (*Very High* - muito alta), H (*High* - alta), M (*Moderate* - moderada), L (*Low* - baixa), VL (*Very Low* - muito baixa) e EL (*Extremely Low* - extremamente baixa) (AIAG & VDA, 2019).

Nota-se que, para a norma SAE J-1739 (Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, 1995), o índice de ocorrência era baseado na frequência que uma determinada falha ocorre, a partir de análise estatística e probabilística. Por exemplo, uma falha ocorre em 1/100, enquanto outra ocorre 1/50 e, a partir desse dado, a ocorrência da falha é ranqueada de 1 a 10.

Já para a nova norma do *AIAG & VDA FMEA Handbook*, o índice de ocorrência leva em conta o tipo de controle de prevenção que é usado durante o processo e sua efetividade em diminuir as ocorrências (AIAG & VDA, 2019).

O índice de ocorrência é qualitativo e não reflete o real número de ocorrências, seu objetivo é demonstrar de forma numérica se o dispositivo estudado possui artifícios que são capazes de diminuir a ocorrência de falhas, seja pelo aparato da

máquina, tempo de vida das ferramentas, material das ferramentas, operadores certificados etc. (AIAG & VDA, 2019).

Quadro 2 – Índice de ocorrência (O)

O	Previsão	Tipo de controle	Controles de prevenção
10	EH	Nenhum.	Não possui.
9	VH	Comportamental.	Pouco efeito.
8	VH	Comportamental.	Pouco efeito.
7	H	Comportamental ou técnico.	Efetivos de alguma forma.
6	H	Comportamental ou técnico.	Efetivos de alguma forma.
5	M	Comportamental ou técnico.	Efetivos na prevenção.
4	M	Comportamental ou técnica.	Efetivos na prevenção.
3	L	Melhores práticas (C ou T).	Altamente efetivos.
2	VL	Melhores práticas (C ou T)	Altamente efetivos.
1	EL	Técnico.	Extremamente efetivos.

Fonte: Adaptado de AIAG & VDA (2019).

O índice de detecção (D) (Quadro 3) é definido como: "a classificação associada a uma previsão do controle de processo mais eficaz dentre os controles de processo do tipo detecção listados." (AIAG & VDA, 2019, p. 111) Também se trata de uma escala de 1 a 10 que correlaciona a habilidade de detectar, maturidade do método de detecção e a oportunidade para detecção. A habilidade de detecção varia entre VH (*Very High* - muito alta), H (*High* - alta), M (*Moderate* - moderada), L (*Low* - baixa) e VL (*Very Low* - muito baixa) (AIAG & VDA, 2019).

Quadro 3 – Índice de detecção (D)

D	Hab.	Maturidade	Oportunidade
10	VL	Nenhum.	Não pode ser detectado.
9	VL	Improvável.	Difícilmente detectado.
8	L	Sem eficácia comprovada.	Inspeção humana.
7	L	Sem eficácia comprovada.	Detecção automatizada ou semi.
6	M	Eficaz.	Inspeção humana.
5	M	Eficaz.	Detecção automatizada ou semi.
4	H	Bastante eficaz.	Detecção automatizada.
3	H	Bastante eficaz.	Detecção automatizada na estação.
2	H	Altamente eficaz.	Detecção e correção pela máquina.
1	VH	Sempre detectado.	Sempre detectado.

Fonte: Adaptado de AIAG & VDA (2019).

Vale ressaltar que controle de processo é diferente de controle de previsão de falha. O controle de processo que é relacionado ao índice de detecção é aquele capaz de detectar a falha durante ou ao final do processo. Enquanto o controle de previsão de falha, relacionado ao índice de ocorrência, é o controle comportamental, técnico ou de melhores práticas que pode reduzir a chance de uma falha acontecer, ou

seja, sua função é evitar a ocorrência. Já o controle de processo é capaz de detectar e pode até mesmo corrigir a falha.

O índice AP (índice de prioridade de ação) correlaciona tanto o índice de severidade, quanto o índice de ocorrência e o índice de detecção Para AIAG & VDA (2019), os níveis de prioridade de ação são:

- a) Prioridade alta (H) é aquela que demanda revisão e ação da equipe de forma prioritária. Há necessidade de identificar ações de prevenção e controle de detecção ou justificar os motivos, além de documentar.
- b) Prioridade média (M - *Medium*) demanda identificação de ações capazes de melhorar a prevenção e detecção, justificativas e documentação das razões pelas quais os controles de detecção empregados são eficazes.
- c) Prioridade baixa (L - *Low*) demanda apenas que a equipe procure formas de melhorar ainda mais as ações de prevenção e detecção.

Estes três níveis de prioridade são uma forma clara e simples de identificar quais modos de falha necessitam de uma intervenção prioritária e quais podem ser responsabilidade de uma manutenção preventiva de rotina.

A prioridade é classificada entre alta, média e baixa, diferentemente do RPN (*Risk Priority Number* - número de prioridade de risco) que é um número de 1 a 1000, de acordo com o resultado da multiplicação entre os índices S, O e D. Também é indicado realizar a multiplicação apenas dos índices de severidade e ocorrência (método S x O) (AIAG & VDA, 2019). O *AIAG & VDA FMEA Handbook* apresenta enfoque no índice AP e não trabalha com os métodos RPN e S x O.

Para fins de comparação, todos os três métodos de análise foram levados em conta no formulário FMEA final, já que o RPN é a classificação indicada pela norma SAE J-1739 (Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, 1995).

O formulário PFMEA resultante (Anexo B) consiste em uma adaptação do formulário do *AIAG & VDA FMEA Handbook*, pois inclui métodos que já foram considerados obsoletos, como RPN e S x O. Além disso, houve a simplificação dos enunciados, que passam de forma sucinta o que é descrito de forma ostensiva no documento original.

3 ESTUDO DE CASO

Tendo em vista a realidade do Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática do IFSC, a metodologia FMEA foi aplicada a partir dos componentes de bancada mais utilizados e que formavam um maior volume de itens com defeito no momento do estudo.

A aplicação da metodologia não envolverá todas as etapas teóricas, devido ao tempo escasso, somente as principais etapas e análises serão realizadas de forma prioritária, sem que isso cause algum tipo de prejuízo no resultado final ou diminua a confiabilidade da análise.

Para além, haverá a exposição do princípio de funcionamento dos componentes de bancada analisados nos testes.

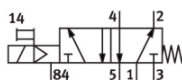
3.1 Descrição dos componentes

Ao longo da presente seção, os componentes de bancada mais comuns do LAHP terão seus dados mais relevantes, bem como seus princípios de funcionamento, especificados.

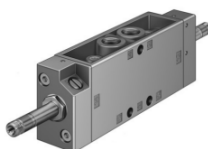
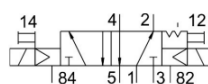
3.1.1 Válvula solenoide

A função da válvula direcional em um circuito pneumático/hidráulico é controlar o fluxo de ar pressurizado/fluido, permitindo a passagem de ar/fluido apenas para os elementos desejados. A válvula solenoide possui comando elétrico, portanto comuta a posição através de um impulso elétrico. No caso das válvulas pneumáticas, o controle direcional se dá por meio da translação de um carretel deslizante (Fialho, 2011).

Para o estudo de caso do LAHP, apenas válvulas eletropneumáticas foram estudadas com afinco e dois modelos se destacaram: MFH-5-1/8 (Figura 5) e JMFH-5-1/8 (Figura 6). A MFH-5-1/8 é uma válvula solenoide 5/2 vias pilotada com retorno por mola (Festo SE & Co., 2025c). Já a JMFH-5-1/8 é uma válvula solenoide 5/2 vias duplo-pilotada (Festo SE & Co., 2025b).

Figura 5 – Válvula MFH-5-1/8

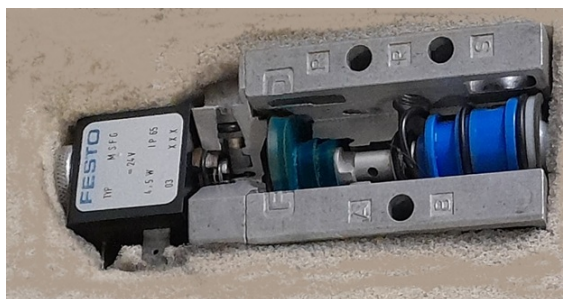
Fonte: Adaptado de Festo SE & Co. (2025c).

Figura 6 – Válvula JMFH-5-1/8

Fonte: Adaptado de Festo SE & Co. (2025b).

Ou seja, a principal diferença entre as duas é que uma é de duplo acionamento, o que significa que precisa de dois solenoides para seu funcionamento, enquanto a outra só precisa de um.

A válvula direcional do tipo 5/2 vias só permite a parada na posição inicial ou final, ou seja, comuta entre duas posições (Fialho, 2011).

Figura 7 – Válvula solenoide em corte

Fonte: Adaptado de Festo SE & Co. (2025b).

Na Figura 7, há uma válvula eletropneumática em corte, na qual é possível observar a câmara, os escapes de ar, a entrada de ar, o carretel etc. O material da

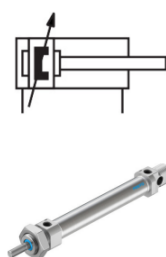
caixa é alumínio fundido, apresenta baixa resistência à corrosão e os materiais de vedação são: NBR e TPE-U(PU) (Festo SE & Co., 2025c).

3.1.2 Atuador normalizado

"Atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que, por meio de movimentos lineares ou rotativos, transformam em energia pneumática a energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão, produzindo trabalho"(Fialho, 2011, p. 78).

No LAHP, o modelo estudado foi o atuador normalizado DSNU-20-100-PPV-A (Figura 8). Trata-se de um atuador com amortecimento pneumático ajustável de ambos os lados (Festo SE & Co., 2025a).

Figura 8 – Atuador normalizado DSNU-20-100-PPV-A



Fonte: Adaptado de Festo SE & Co. (2025a).

Na Figura 9, observa-se o atuador em corte, com seus componentes internos.

Figura 9 – Atuador - vista em corte



Fonte: Adaptado de Festo SE & Co. (2025a).

Há o sistema de amortecimento e de vedação, além do êmbolo, haste e camisa do atuador. Dois modelos distintos de atuadores normalizados estão expostos nesta Figura 9, um de simples ação e outro de dupla ação.

Para fins de estudo, o atuador normalizado DSNU-20-100-PPV-A que apresentou o caso mais grave de falha no sistema de amortecimento foi cerrado para

que fosse possível visualizar sua estrutura interna. Os atuadores deste modelo não possuem kit reparo para vedação e amortecimento, por serem compactos e de fácil substituição por outro igual.

Figura 10 – Haste do atuador DSNU-20-100-PPV-A



Fonte: Acervo próprio (2025).

Em relação aos materiais, há haste e a camisa do atuador, compostas de aço inoxidável, e o sistema de vedação e amortecimento embutidos, de NBR e TPE-U(PU). A autolubrificação do atuador está relacionada às propriedades dos materiais que o compõem: camadas intercaladas de bronze, anel de poliuretano e anel de borracha. Já o material da tampa é liga de alumínio incolor e anodizada (Festo SE & Co., 2025a).

3.1.3 Rolete - Sensor de fim de curso

O rolete, também chamado de limitador de curso e *micro switch*, é um dispositivo que se comporta como sensor fim de curso das válvulas eletropneumáticas, devido a seu funcionamento do tipo chave impulso, que permite a comutação entre os solenoides (Fialho, 2011).

Os roletes dos modelos 183345 e 183322 possuem as mesmas características externas e representação técnica, sua única diferença é a direção da atuação do sensor (Figura 11).

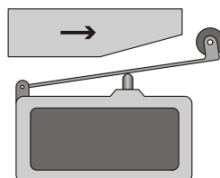
Figura 11 – Limit switches modelos 183345 e 183322



Fonte: Adaptado de Festo Didatic (2015a).

O modelo 183345 apresenta acionamento pela direita (Festo Didatic, 2015b), enquanto o modelo 183322 apresenta o acionamento pela esquerda, como ilustrado na Figura 12 (Festo Didatic, 2015a).

Figura 12 – Acionamento do *limit switch* modelo 183322



Fonte: Adaptado de Festo Didatic (2015a).

Segundo a Festo Didatic (2015a), trata-se de um *micro switch* acionado mecanicamente, a partir da pressão que o atuador exerce sobre a alavanca do rolete. De acordo com o acionamento da alavanca do rolete, o circuito fecha ou abre (dependendo do tipo de sensor, se é normalmente aberto, normalmente fechado etc.). Ambos os modelos podem atuar como NA, NF ou os dois ao mesmo tempo (Festo Didatic, 2015b). A conexão 1-2 é normalmente fechada e a conexão 1-4 é normalmente aberta.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os procedimentos metodológicos empregados para a realização do presente estudo de caso.

Dos 30 componentes analisados de forma individual, eram: 12 eletroválvulas, 11 roletes e 3 atuadores normalizados. Um bloco distribuidor, uma válvula pneumática e dois filtros reguladores foram excluídos das análises durante a delimitação do estudo. Todos foram catalogados.

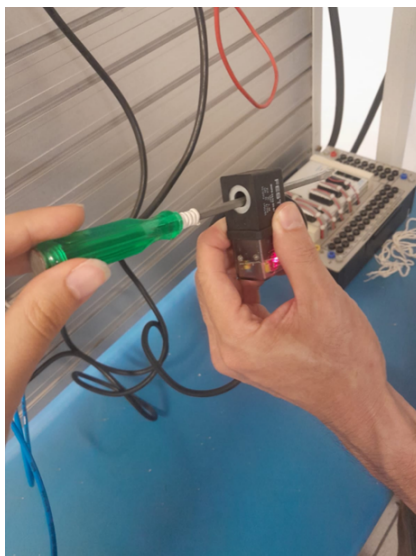
Para além da revisão bibliográfica, que norteou os principais conceitos de FMEA a serem aplicados, as doze válvulas solenoides foram submetidas a ensaios individuais para análise dos seus princípios de funcionamento e determinação dos defeitos. Os atuadores já possuíam indicação de modo de falha, que variou entre problemas na vedação ou no amortecimento.

A Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos é um método qualitativo, então para determinar os possíveis modos de falha de um sensor de fim de curso (ou rolete) foi utilizado um ensaio extenso de uma única unidade, em vez de estudar todas as onze. Entende-se que, por se tratar de um componente com 3 olhais, 3 conexões internas por fiação e uma alavanca de contato, os possíveis defeitos se dariam por meio do prejuízo funcional de um desses subcomponentes.

Os ensaios consistiam em testar o componente em bancada didática no LAHP e registrar o que estava funcionando e o que não estava. A partir da determinação dos defeitos, havia a necessidade de investigar a origem dos mesmos e quais seriam facilmente corrigidos ou não.

No caso das válvulas eletropneumáticas, os testes consistiam em:

- a) observar se o LED do solenoide estava aceso e se forma campo eletromagnético com uma chave de fenda (Figura 13);
- b) caso não funcione, o solenoide está queimado e deve ser substituído;
- c) realizar o estímulo elétrico através do comando do solenoide para movimentação do carretel (Figura 14);
- d) caso carretel pareça trancado, utilizar uma chave para girar o parafuso de acionamento manual, forçando o movimento mecânico;
- e) se mesmo assim, o carretel não se movimentar, o carretel está trancado;
- f) colocar as mãos perto das saídas de ar da válvula e sentir se há escape excessivo de ar, se necessário, trocar as borrachas de vedação;
- g) verificar se o olhal de conexão da mangueira de ar está funcionando de forma correta ou se a mangueira escapa facilmente.

Figura 13 – Verificação do campo eletromagnético do solenoide

Fonte: Adaptado de Andrade (2024).

Figura 14 – Teste padrão da válvula eletropneumática em bancada

Fonte: Adaptado de Andrade (2024).

Para os sensores de fim de curso, observa-se:

- a) conectar o sensor nas duas posições possíveis: NA e NF;
- b) ao conectar como NA (1-3 ou 1-4), observar se o relé acende (circuito fechado), determinando o correto funcionamento do olhal, fiação e contato interno;
- c) ao conectar como NF (1-2), observar se o relé acende (circuito aberto), determinando o correto funcionamento do olhal, fiação e contato interno;
- d) se estiver apagado em um dos casos, significa que há defeito no conector correspondente, se for nos dois, o problema pode ser somente no

- conector 1 (comum aos dois acionamentos) ou nos três;
- e) se o defeito for mau contato da fiação, ao mexer no cabo de forma externa, o circuito se fecha o relé acende e apaga dependendo da posição;
 - f) se o defeito for mau contato do olhal, ao mexer no conector com o relé, o circuito fecha o relé acende e apaga a depender do posicionamento;
 - g) se o defeito for no contato interno, mesmo testando as formas de mau contato, o circuito não fecha o relé não acende;
 - h) observar o estado da alavanca de contato e seu retorno por mola, se ela estiver avariada pode não ser acionada pelo atuador.

Em termos dos atuadores normalizados, observar:

- a) se a movimentação do atuador ocorre de forma esperada, tanto o avanço quanto o recuo;
- b) se há vazamento de ar, tanto pelas saídas de ar, quanto pela câmara;
- c) se o retorno ocorre de forma suave e se o amortecimento está ocorrendo da forma esperada.

Os ensaios consistem nos itens **a)** até **f)** dos procedimentos da implementação de FMEA indicados por Sakurada (2001) na Seção 2.2. Durante o estudo de caso, alguns itens para implementação de FMEA foram suprimidos devido ao tempo limitado de desenvolvimento, como, por exemplo, os diagramas de bloco. Não houve prejuízo no resultado final, pois os componentes foram exaustivamente operados durante os ensaios, além dos estudos sobre o funcionamento das partes dos componentes. Por fim, foram realizados os últimos dois itens: avaliação e revisão do formulário FMEA.

O formulário FMEA é o registro oficial das conclusões da avaliação dos efeitos e análise das causas dos modos de falha, portanto são procedimentos intrínsecos. Ambos compõem o próximo capítulo, que trata da apresentação dos resultados do estudo de caso.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Durante o estágio curricular obrigatório, os componentes com defeito das bancadas didáticas do LAHP foram mapeados e catalogados. Após chegar a um denominador comum, foi possível notar que certos modos de falha eram observados repetidamente no mesmo modelo de componente. A partir da análise dos modos de falha e seus efeitos desses componentes pontuais, a dinâmica do laboratório foi esclarecida e documentada.

Os resultados da FMEA de processo para as válvulas solenoides, atuadores normalizados e sensores de fim de curso estão, respectivamente nos Apêndices A, B e C.

Os principais modos de falha das válvulas são: solenoide queimado e carretel trancado, com ação de prioridade alta, RPN (número de prioridade de risco) de 720 e 384, respectivamente, e S x O de 72 e 48, respectivamente.

Já para os atuadores os modos de falha com maior destaque são: sistema de amortecimento com falha no final de curso e vazamento de ar (falha no sistema de vedação), com ação de prioridade alta, RPN de 432 e 384, respectivamente, e S x O de 54 e 48, respectivamente.

Por fim, para os sensores de fim de curso, as modos de falha mais evidentes são: alinhamento incorreto com o atuador, causando deformação na alavanca de acionamento (com ação de prioridade alta, RPN de 378 e S x O de 63), e mau contato na fiação entre conectores e relé (com AP alta, RPN de 294 e S x O de 49).

5.1 Análise e discussão dos resultados

Partindo dos 4Ms do Diagrama de Ishikawa, analisa-se: operador, equipamento, material indireto e condições ambientais, como explicado na Seção 2.2.1.

Em relação ao operador, observou-se que a postura dos discentes em laboratório, muitas vezes por pressa ou desatenção, leva ao dano dos conectores das mangueiras de válvulas e atuadores. Quando em vez de ser retirada de forma delicada, apertando o mecanismo de vedação do conector, a mangueira é puxada, isso causa danos tanto na mangueira (que pode quebrar e um pedaço ficar preso na cavidade do conector), quanto no conector em si (que pode perder seu mecanismo de vedação e não ser mais capaz de fixar a mangueira durante a operação). Uma das responsabilidades do operador consiste em observar o estado geral de cada um dos itens necessários para operação e mangueiras velhas devem ser descartadas.

Todo equipamento é projetado com um ciclo de vida pré-determinado, especialmente componentes eletromecânicos, que possuem diversos componentes que dependem de lubrificação, encaixe, montagem etc. É um processo natural que um

O-ring (anel de borracha de vedação), por exemplo, resseque com o tempo e precise ser trocado. Há módulos de kit reparo para os itens que são comumente trocados para o bom funcionamento do maquinário, inclusive é uma das boas práticas de manutenção preventiva que haja a substituição desses itens antes da falha (um cronograma de manutenção).

Há modelos que são desenvolvidos apenas para um número estimado de ciclos e depois a forma de manutenção é substituir o mecanismo inteiramente. É o caso do atuador normalizado DSNU-20-100-PPV-A, que possui a câmara interna blindada. Os conectores externos com as mangueiras podem ser trocados, mas os anéis de vedação e amortecimento não possuem kit reparo comercial.

O material indireto do presente estudo de caso consiste no ar comprimido, já que os modelos de atuadores e válvulas das bancadas didáticas do LAHP já vieram lubrificados de fábrica e operam com ar comprimido seco. A pressão do ar comprimido influencia na velocidade e força de movimentação dos êmbolos, mas operar em uma alta pressão é contra as normas de segurança. No LAHP, normalmente se trabalha a 6 bar. O material indireto não mostrou papel decisivo na análise pois o foco foi destinado a outros aspectos. Em uma análise focada em unidade de preparação de ar, provavelmente seria um dos maiores destaques.

Segundo AIAG & VDA (2019), as más práticas propositais e catástrofes não devem constar na lista de FMEA, pensando que o método FMEA é aplicado em ambientes com profissionais que foram treinados para estar naquele ambiente.

Durante a análise da questão ambiental, destaca-se a necessidade da limpeza das mangueiras intermediárias (que são material de consumo do laboratório), já que se mostraram como a principal fonte de contaminação do mundo externo para a câmara velada tanto das válvulas, quanto dos atuadores. Como no LAHP há medidas de manutenção da unidade de preparação de ar (que tem um filtro embutido), as partículas de impureza provenientes do compressor de ar ficam retidas.

Há também a possibilidade do desgaste com o tempo de uso das válvulas ter causado a contaminação: os próprios componentes internos sofrem desgaste e passam a soltar partículas contaminantes. Essa teoria só poderia ser confirmada com a abertura da câmara e verificação da existência ou não dessas partículas contaminantes provenientes do próprio sistema. Por causa do tempo limitado, esse procedimento não foi realizado, então manteve a questão da teoria das mangueiras intermediárias.

Ora, a mangueira interliga o ar comprimido da linha de alimentação do laboratório com o componente e também conecta componentes entre si (como uma válvula e um atuador). Encontrada essa forma de contaminação secundária, novas formas de armazenamento e limpeza das mangueiras são recomendadas: limpeza periódica das gavetas nas quais as mangueiras são armazenadas, observação do

estado geral das mangueiras e boas práticas de manuseio.

No caso dos sensores de fim de curso, foram propostas ações que são mais voltadas ao ambiente e postura no LAHP, como evitar manuseio com mão úmida, verificar o posicionamento entre atuadores e sensores antes de ligar o circuito, entre outras. Porém, no dia a dia, quando um sensor de fim de curso apresenta defeitos, ele é substituído por outro. A manutenção não seria financeiramente retornável, por isso manter os sensores em bom estado já é, por si só, uma forma de evitar maiores gastos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração do presente estudo de caso demandou um extenso embasamento teórico, principalmente em relação ao *AIAG & VDA FMEA Handbook*. Em comparação com a norma SAE J-1739, de 1995, houveram grandes mudanças em relação ao formulário final, além da questão conceitual.

Fez-se necessário filtrar quais falhas seriam incluídas no formulário FMEA, logo optou-se pelas falhas mais evidentes no cotidiano do laboratório, a fim de delimitar o estudo de caso.

Os resultados finais foram semelhantes aos encontrados previamente durante o estágio curricular obrigatório. Em relação às válvulas eletropneumáticas, o solenoide queimado apresentou RPN mais alto do que o carretel trancado, pois o carretel trancado possui dois meios de resolução (uso do parafuso de acionamento mecânico ou desmontagem e limpeza da válvula), enquanto um solenoide queimado tem como única ação indicada a sua completa substituição.

Para os atuadores normalizados, a falha com maior RPN foi a que afeta o sistema de amortecimento. Infelizmente, o modelo estudado não possui kit reparo e deve ser completamente substituído nesses casos. O mesmo vale para os sensores de fim de curso, que tem como modo de falha mais grave o alinhamento incorreto com o atuador, afetando a alavanca de acionamento, que pode sofrer avarias irreversíveis com o choque mecânico.

Algumas válvulas eletropneumáticas foram recuperadas durante o estudo de caso, especialmente as que apresentavam problemas nos conectores e carretéis trancados (os casos que se resolveram com o parafuso de acionamento mecânico).

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, aponta-se a criação de um banco de dados que armazene as falhas recorrentes no Laboratório de Automação Hidráulica e Pneumática do IFSC e seja capaz de desenvolver um algoritmo que indique as principais ações a serem tomadas para minimizar as perdas.

Outra possibilidade é a criação de um *software* de FMEA totalmente gratuito e de fácil adesão, diminuindo a resistência das empresas a aderir à documentação de seus processos de análise de falha, tornando a implementação de FMEA mais simples e clara.

Por fim, a revisão do presente estudo de caso de forma mais aprofundada, com ensaios envolvendo a abertura de válvulas pneumáticas com carretel trancado e outros modelos de válvulas, atuadores e sensores de fim de curso.

REFERÊNCIAS

- AIAG & VDA. **FMEA Handbook**. Michigan: AIAG Publications, 2019. 16, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 36
- ANDRADE, M. Maheirie de. **Relatório de estágio curricular obrigatório**. Florianópolis: LAHP – IFSC, 2025. 13
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. Disponível em: <https://ufsb.edu.br/propa/images/dinfra/coman/Legisla%C3%A7%C3%B5es/NBR-5462.pdf>. Acesso em: 11 abr 2025. 16
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation. **Potencial Failure Mode and Effects Analylis (FMEA) Reference Manual - SAE J-1739**. Essex: Ford and General Motors and Chrysler, 1995. 23, 24, 26
- Departamento de Defesa dos EUA. **Military Standard - Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. Virginia: Departamento de Defesa dos EUA, 1980. Disponível em: https://www.dsiintl.com/wp-content/uploads/2017/04/mil_std_1629a.pdf. Acesso em: 10 mar 2025. 19
- Festo Didatic. **183322 - Limit switch, electrical, actuated from the left**. Alemanha: Festo Didatic, 2015. Disponível em: https://www.festo.com/net/en-gb_gb/SupportPortal/Files/766160/183322_en_v2.0_Limit_switch.pdf. Acesso em: 06 abr 2025. 31
- Festo Didatic. **183345 - Limit switch, electrical, actuated from the right**. Alemanha: Festo Didatic, 2015. Disponível em: https://www.festo.com/net/en-ir_ir/SupportPortal/Files/766164/183345_en_v2.0_Limit_switch.pdf. Acesso em: 06 abr 2025. 31
- Festo SE & Co. **Atuador normalizado DSNU-20-100-PPV-A**. Alemanha: Festo SE & Co., 2025. Disponível em: <https://www.festo.com/br/pt/a/download-document/datasheet/19239>. Acesso em: 06 abr 2025. 29, 30
- Festo SE & Co. **Válvula solenoide JMFH-5-1/8**. Alemanha: Festo SE & Co., 2025. Disponível em: <https://www.festo.com/pt/pt/a/download-document/datasheet/8820>. Acesso em: 06 abr 2025. 27
- Festo SE & Co. **Válvula solenoide MFH-5-1/8**. Alemanha: Festo SE & Co., 2025. Disponível em: <https://www.festo.com/pt/pt/a/download-document/datasheet/9982>. Acesso em: 06 abr 2025. 27, 29
- FIALHO, A. B. **Automação Pneumática - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2011. 333 p. ISBN 9788536505176. 27, 28, 29, 30
- FOGLIATO, F. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2009. 259 p. ISBN 9788595154933. 16, 19
- Ford Production System. **Failure Mode Effects Analysis: Handbook Supplement for Machinery**. Michigan: Ford Motor Company, 1996. Disponível em: <https://www.volumetric.com.br/artigos/fordmachineryfmea.pdf>. Acesso em: 10 mar 2025. 18

JING, G. G. **FMEA**. Milwaukee: American Quality Society, 2024. Disponível em: <https://asq.org/quality-resources/fmea>. Acesso em: 10 mar 2025. 16

MENCÍK, J. **Failure Modes and Effects Analysis**. InTechOpen, 2016. Disponível em: <https://openresearchlibrary.org/content/77c425a4-1fe2-4d81-a017-5e0c4b2c5e81>. Acesso em: 10 fev 2025. 13

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Florianópolis: UFSC, 2001. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80128>. Acesso em: 10 fev 2025. 13, 17, 18, 19, 34

STAMATIS, D. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**. 2. ed. [S.l.]: American Quality Society - Quality Press, 2003. 17, 18, 19

APÊNDICES

APÊNDICE A – PFMEA DAS VÁLVULAS

Formulário PFMEA

Nome da empresa: IFSC

Local de manufatura: LAHP

Nome do cliente: Eduardo Yuji Sakurada

Modelo/Ano/Plataforma: FESTO MFH-5-1/8 e JMFH-5-1/8

Objeto: Válvula eletropneumática

Data de início: 17/06/2025

Data de revisão: 07/06/2025

Equipe: Morgana e Prof. Yuji

Nº ID PFMEA: 01

Responsável PFMEA: Morgana Maheirie

Nível de confidencialidade: Baixo

Análise estrutural				Análise funcional			Análise de falha		
Item do processo	Etapas do processo	Tipo de processo	Função do item	Função da etapa	Função do processo	Efeitos de falha	S¹	Modos de falha	Causas de falha
Carretel	Comutação da válvula	Ambiental	Direcionar a vazão do ar comprimido para a saída desejada	Liberar e impedir o fluxo de ar nas saídas desejadas	O estado do LAHP influencia no rendimento	Válvula não comuta, fica presa em uma posição	8	Carretel trancado	Impurezas na câmara interna que impedem a movimentação livre do carretel
Conector da mangueira	Passagem do ar comp. da linha para a válvula	Mão de obra	Garantir que a mangueira ficará vedada e segura	Transmitir o ar comprimido da mangueira para a válvula	Operador conecta a mangueira para transmissão de ar	Válvula perde rendimento, recebe pouco ar comprimido	7	Vazamento de ar pelo conector da mangueira	Retirada brusca da mangueira sem utilizar o recurso de segurança
Conector da mangueira	Acima	Mão de obra	Acima	Acima	Acima	Válvula não recebe vazão de ar	8	Mangueira quebrada no conector	Uso de mangueiras velhas
Solenóide	Comando da válvula	Maquinário	Comando do carretel	Liberar e impedir o fluxo de ar nas saídas desejadas	Passagem de corrente elétrica entre relé e solenóide	Válvula não comuta	8	Solenóide queimado	Tempo de uso do solenóide, alimentação incorreta e sobrecarga de tensão

¹ Índice de severidade.

Análise de risco					Otimização				
Controle de prevenção atual	O ²	Controle de detecção atual	D ³	PFMEA AP ⁴	Características especiais	Ação preventiva	Ação de detecção	Nome do responsável	Data prevista para concluir
Limpezas nos filtros da linha pneumática do LAHP	7	Operador percebe que a válvula não comuta	8	H	Há um parafuso de acionamento manual	Limpeza dos filtros e mangueiras intermediárias	Inspeção humana	Morgana	07/06/2025
Uso consciente, operador atento ao colocar e retirar a mangueira	6	Operador sente o vazamento de ar durante a operação	6	H	Não possui	Limpeza das mangueiras e treinamento de operadores	Inspeção humana	Morgana	07/06/2025
Acima	6	Operador percebe que há algo preso na cavidade do conector	6	H	Não possui	Descarte de mangueiras velhas e treinamento de operadores	Inspeção humana	Morgana	07/06/2025
Nenhum	10	LED apagado ou não passa no teste do campo eletromagnético com chave de fenda	10	H	LED que indica o acionamento do solenóide	Atenção dos operadores na montagem	Observação do LED sinalizador	Morgana	07/06/2025

² Índice de ocorrência.

³ Índice de detecção.

⁴ Ação de prevenção.

Otimização					Métodos anteriores				
Status	Ação tomada	Data de conclusão	S	O	D	Características especiais	PFMEA AP	RPN ⁵	(S x O)
Concluído	Uso do parafuso de acionamento manual para destrancar o carretel e/ou desmontar a câmara interna da válvula para limpeza	07/06/2025	8	6	8	-	H	384	48
Concluído	Trocar o conector	07/06/2025	7	5	6	-	M	210	35
Concluído	Retirar a parte da mangueira quebrada de dentro do conector e testá-lo, em caso de dano permanente, trocá-lo	07/06/2025	8	5	6	-	M	240	40
Concluído	Trocar o módulo solenóide	07/06/2025	8	9	10	-	H	720	72

⁵ Número de prioridade de risco, resultado da multiplicação entre os índices de severidade, ocorrência e detecção.

APÊNDICE B – PFMEA DOS ATUADORES

Formulário PFMEA

Nome da empresa: IFSC
Local de manufatura: LAHP
Nome do cliente: Eduardo Yuji Sakurada
Modelo/Ano/Plataforma: FESTO
DSNU-20-100-PPV A

Objeto: Atuador pneumático
Data de início: 17/06/2025
Data de revisão: 11/06/2025
Equipe: Morgana e Prof. Yuji

Nº ID PFMEA: 02

Responsável PFMEA: Morgana Maheirie
Nível de confidencialidade: Baixo

Análise estrutural			Análise funcional			Análise de falha			
Item do processo	Etapas do processo	Tipo de processo	Função do item	Função da etapa	Função do processo	Efeitos de falha	S ¹	Modos de falha	Causas de falha
Sistema de amortecimento	Avanço e recuo do êmbolo	Maquinário	Amortecer o impacto do êmbolo com os cabeçotes	Movimentação do êmbolo	Restringir a saída de ar no fim de curso	Batida seca entre êmbolo e cabeçote	9	Sistema de amortecimento com falha no final de curso	Fadiga da mola, ressecamento dos anéis internos de borracha e gaxetas
Sistema de vedação	Passagem de ar comprimido	Maquinário	Vedar a câmara interna do cilindro	Transmitir o ar comprimido da mangueira para o atuador	Evitar escape de ar comprimido	Avanço e recuo com menor rendimento	8	Vazamento no sistema de vedação	Desgaste dos anéis internos de borracha e das gaxetas
Conectores externos	Passagem do ar comprimido	Mão de obra	Garantir que a mangueira ficará vedada e segura	Acima	Operador conecta a mangueira para transmissão de ar	Atuador perde rendimento, recebe pouco ar comprimido	7	Vazamento de ar pelo conector da mangueira	Retirada brusca da mangueira sem utilizar o recurso de segurança
Conectores externos	Passagem do ar comprimido	Mão de obra	Acima	Acima	Acima	Atuador não recebe ar	8	Mangueira quebrada no conector	Uso de mangueiras velhas

¹ Índice de severidade.

Análise de risco				Otimização					
Controle de prevenção atual	O ²	Controle de detecção atual	D ³	PFMEA AP ⁴	Características especiais	Ação preventiva	Ação de detecção	Nome do responsável	Data prevista para concluir
Os materiais utilizados	6	Operador ouve a batida seca	8	H	Não possui	Operar sob pressão indicada	Inspeção humana	Morgana	11/06/2025
Os materiais utilizados (como bronze e PU)	6	Operador sente o vazamento de ar durante a operação	8	H	Não possui	Operar sob pressão indicada	Inspeção humana	Morgana	11/06/2025
Uso consciente, operador atento ao colocar e retirar a mangueira	6	Acima	6	H	Não possui	Limpeza das mangueiras e treinamento de operadores	Inspeção humana	Morgana	11/06/2025
Acima	6	Operador percebe que há algo preso na cavidade do conector	6	H	Não possui	Descarte de mangueiras velhas e treinamento de operadores	Inspeção humana	Morgana	11/06/2025

² Índice de ocorrência.

³ Índice de detecção.

⁴ Ação de prevenção.

Otimização					Métodos anteriores				
Status	Ação tomada	Data de conclusão	S	O	D	Características especiais	PFMEA AP	RPN ⁵	(S x O)
Concluído	Substituir o atuador inteiro ⁶	11/06/2025	9	6	8	-	H	432	54
Concluído	Acima	11/06/2025	8	6	8	-	H	384	48
Concluído	Trocar o conector	11/06/2025	7	5	6	-	M	210	35
Concluído	Retirar a parte da mangueira quebrada de dentro do conector e testá-lo, em caso de dano permanente, trocá-lo	11/06/2025	8	5	6	-	M	240	40

⁵ Número de prioridade de risco, resultado da multiplicação entre os índices de severidade, ocorrência e detecção.

⁶ Para outros modelos de atuadores que não possuem a câmara blindada, é possível trocar as peças avariadas (kit reparo).

APÊNDICE C – PFMEA DOS SENSORES DE FIM DE CURSO

Formulário PFMEA

Nome da empresa: IFSC

Local de manufatura: LAHP

Nome do cliente: Eduardo Yuji Sakurada

Modelo/Ano/Plataforma: FESTO 183345 e 183322

Objeto: Sensor de fim de curso

Data de início: 17/06/2025

Data de revisão: 17/06/2025

Equipe: Morgana e Prof. Yuji

Nº ID PFMEA: 03

Responsável PFMEA: Morgana Maheirie

Nível de confidencialidade: Baixo

Análise estrutural				Análise funcional			Análise de falha		
Item do processo	Etapas do processo	Tipo de processo	Função do item	Função da etapa	Função do processo	Efeitos de falha	S ¹	Modos de falha	Causas de falha
Conectores externos	Transmissão do sinal elétrico para o relé	Ambiental	Alimentar o sensor e estabelecer a lógica NA ou NF	Enviar o sinal elétrico para o CLP ou relé	O ar do LAHP influencia na oxidação	Mau contato, sinal intermitente	7	Oxidação dos terminais	Tempo de uso e exposição à umidade
Fiação entre conectores e relé	Transmissão do sinal elétrico para o relé	Maquinário	Passagem de sinal elétrico	Enviar o sinal elétrico para o CLP ou relé	O sensor não possui uma caixa para fiação	Sinal intermitente ou falso	7	Mau contato na fiação	Fiação exposta ao manuseio brusco
Alavanca de acionam.	Mudança de posição do terminal em contato	Mão de obra	Transmissão do movimento para o mecanismo interno	Fechar o circuito como NF ou NA	Operador realiza a montagem do circuito	Não aciona o rolete, danifica o rolete etc.	9	Alinhamento incorreto com atuador	Montagem incorreta entre atuador e sensor de fim de curso e tempo de uso

¹ Índice de severidade.

Análise de risco

Análise de risco					Otimização					Otimização		
Controle de prevenção atual	O ²	Controle de detecção atual	D ³	PFMEA AP ⁴	Características especiais	Ação preventiva	Ação de detecção	Nome do responsável	Data prevista para concluir			
Armazenamento em local seco	7	Operador percebe que o conector está oxidado	6	H	Não possui	Evitar contato com panos úmidos	Inspeção humana	Morgana	19/06/2025			
Nenhum	10	Operador percebe o sinal intermitente	6	H	Não possui	Armazenar de forma espaçada	Inspeção humana	Morgana	19/06/2025			
Nenhum	10	Operador verifica o posicionamento do rolete	6	H	Não possui	Usar gabaritos na montagem	Inspeção humana	Morgana	19/06/2025			

Otimização

Otimização					Métodos anteriores							
Status	Ação tomada	Data de conclusão	S	O	D	Características especiais	PFMEA AP	RPN ⁵	(S x O)			
Concluído	Treinamento dos usuários do LAHP	19/06/2025	7	6	6	-	H	252	42			
Concluído	Uso de divisórias nas gavetas de armazenamento	19/06/2025	7	7	6	-	H	294	49			
Concluído	Treinamento dos usuários do LAHP	19/06/2025	9	7	6	-	H	378	63			

² Índice de ocorrência.

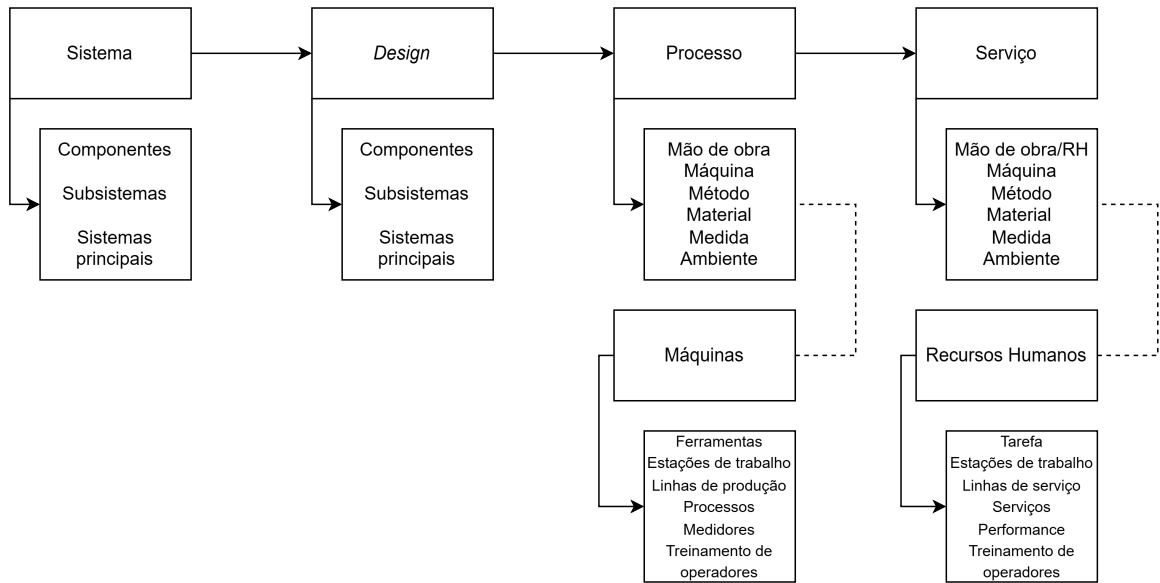
³ Índice de detecção.

⁴ Ação de prevenção.

⁵ Número de prioridade de risco, resultado da multiplicação entre os índices de severidade, ocorrência e detecção.

ANEXOS

ANEXO A – DIAGRAMA DOS 4 TIPOS DE FMEA



Foco:
Minimizar as falhas no sistema.

Objetivo/meta:
Maximizar a qualidade do sistema, confiabilidade, custo e manutenibilidade.

Foco:
Minimizar as falhas no *design*.

Objetivo/meta:
Maximizar a qualidade do *design*, confiabilidade, custo e manutenibilidade.

Foco:
Minimizar as falhas de processo no processo total (sistema).

Objetivo/meta:
Maximizar a qualidade do processo total (sistema), confiabilidade, custo, manutenibilidade e produtividade.

Foco:
Minimizar as falhas de serviço na organização total.

Objetivo/meta:
Maximizar a satisfação do consumidor, através da qualidade, confiabilidade e serviço.

ANEXO B – FORMULÁRIO DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS

Formulário PFMEA

Nome da empresa:

Objeto:

Nº ID PFMEA:

Local de manufatura:

Data de início:

Responsável PFMEA:

Nome do cliente:

Data de revisão:

Nível de confidencialidade:

Modelo/Ano/Plataforma:

Equipe:

Análise estrutural			Análise funcional			Análise de falha			
Item do processo	Etapa do processo	Tipo de processo	Função do item	Função da etapa	Função do processo	Efeitos de falha	S ¹	Modos de falha	Causas de falha

¹ Índice de severidade.

Formulário PFMEA

Nome da empresa:

Objeto:

Nº ID PFMEA:

Local de manufatura:

Data de início:

Responsável PFMEA:

Nome do cliente:

Data de revisão:

Nível de confidencialidade:

Modelo/Ano/Plataforma:

Equipe:

Análise de risco				Otimização					
Controle de prevenção atual	O ²	Controle de detecção atual	D ³	PFMEA AP ⁴	Características especiais	Ação preventiva	Ação de detecção	Nome do responsável	Data prevista para concluir

² Índice de ocorrência.
³ Índice de detecção.
⁴ Ação de prevenção.

Formulário PFMEA

Nome da empresa:

Local de manufatura:

Nome do cliente:

Modelo/Ano/Plataforma:

Objeto:

Data de início:

Data de revisão:

Equipe:

Nº ID PFMEA:

Responsável PFMEA:

Nível de confidencialidade:

Otimização					Métodos anteriores				
Status	Ação tomada	Data de conclusão	S	O	D	Características especiais	PFMEA AP	RPN ⁵	(S x O)

⁵ Número de prioridade de risco, resultado da multiplicação entre os índices de severidade, ocorrência e detecção.