

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias - CEng
Curso de Engenharia de Produção



Trabalho de Conclusão de Curso

**Estudo do Processo de Análise de Falha em Sistemas Hidráulicos e
Pneumáticos**

Felipe Saldanha de Araujo Junior

Pelotas, 2020

Felipe Saldanha de Araujo Junior

**Estudo do Processo de Análise de Falha em Sistemas Hidráulicos e
Pneumáticos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Dr. Gilson Simões Porciúncula

Pelotas, 2020

Felipe Saldanha de Araujo Junior

Estudo do Processo de Análise de Falha em Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 15 de dezembro de 2020.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gilson Simões Porciúncula (Orientador)
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Alejandro Martins Rodriguez
Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Giuseppe Stefanello
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Resumo

ARAUJO JUNIOR, Felipe Saldanha de. **Estudo do Processo de Análise de Falha em Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos**. Orientador Gilson Simões Porciúncula. 2020. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia de Produção) - Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

As técnicas de análise de falhas possuem um papel importantíssimo para garantia de alta confiabilidade e maneabilidade de sistemas, processos e produtos. A diversidade de ferramentas oriundas da análise de falhas permite inúmeras visões referentes a variável estudada, possibilitando uma tomada de decisão eficaz para o tratamento de não-conformidades. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é realizar uma aplicação das metodologias Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA), Análise de Árvores de Falhas (FTA) e Análise de Árvore de Eventos (ETA) em sistemas hidráulicos e pneumáticos, permitindo assim aferir as falhas vinculadas aos componentes integrantes desses circuitos e mensurar os resultados oriundos desses eventos, por fim é proposto um conjunto de soluções em prol da elevação da qualidade no desempenho desses sistemas.

Palavras-chave: Análise de Risco; Análise de Modos de Falhas e Efeitos; FMEA; Análise de Árvore de Falhas; FTA; Análise por árvore de Eventos; ETA; Sistemas Hidráulicos; Sistemas Pneumáticos.

Abstract

The analysis techniques possess an extremely important role, granting high reliability and maintainability of systems, processes and products. The diversity of tools arising from flaw analysis allows countless angles of the studied variable, allowing effective decision-making to the treatment of non-conformities. The objective of the present task is to make an application of the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA) and Event Tree Analysis (ETA) methodologies in hydraulic and pneumatic systems, allowing assess to the fails linked to components members of such circuits and measure the results product of such events, in conclusion, a set of solutions is proposed with the intention of elevating the performance quality of such systems.

Sumário

1 Introdução	8
2 Objetivos	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 Justificativa	11
4 Limitações	12
5 Revisão da Literatura	13
5.1 Métodos de Análise de Falhas	13
5.2 Análise do tipo e efeito da falha (FMEA)	14
5.2.1 Conceito da FMEA e etapas para a obtenção do seu sucesso	15
5.2.2 Tipologia para o FMEA.....	15
5.3 Análise da árvore de falhas (FTA).....	21
5.3.1 Conceito e Metodologia para aplicação da FTA.....	21
5.3.2 Álgebra Booleana aplicada à FTA.....	23
5.3.4 Relação FTA x FMEA.....	26
5.4 Análise de árvore de eventos.....	27
5.4.1 Diferenças entre FTA e ETA	28
5.4.2 Conceitos e aplicação da ETA	28
5.4.3 Exemplo para cálculo do ETA	30
5.5 Conceitos gerais de Acionamentos Hidráulicos e Pneumáticos.....	32
5.5.1 Particularidades dos Acionamentos Pneumáticos.....	33
5.5.2 Propriedades de sistemas hidráulicos.....	36
5.6 Componentes presentes em sistemas hidráulicos e pneumáticos.....	38
5.6.1 Meios de fornecimento de energia para Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos.....	38
5.6.2 Válvula de Controle Direcional	39
5.6.2 Atuador.....	41
5.6.3 Válvulas auxiliares.....	43
6 Metodologia.....	46
6.1 Procedimentos metodológicos para o estudo de caso	47
6.1.1 Definição das ferramentas.....	47
6.1.2 Definição dos softwares	47
6.1.3 Referências Bibliográficas	50

6.1.4 Estruturação do banco de dados.....	51
6.1.5 Apresentação dos resultados	53
7 Análise de Dados e Discussão dos Resultados	54
7.1 Escolha do sistema hidráulico, dos componentes e apresentação de suas falhas	54
7.2 Análise das falhas nos componentes através do FMEA.....	56
7.2.1 Análise de falha do Atuador Hidráulico através do FMEA.	56
7.2.2 Análise de falha da válvula direcional através do FMEA.	57
7.2.3 Análise de falha da válvula de retenção através do FMEA.	58
7.2.4 Análise de falha da válvula reguladora de pressão através do FMEA.....	59
7.2.5 Análise de falha do filtro através do FMEA.....	60
7.2.6 Análise de falha da bomba hidráulica através do FMEA.	61
7.3 Análise dos eventos de topo dos sistemas hidráulicos pelo FTA	63
7.3.1 Análise de falhas do evento 1 através do FTA.....	63
7.3.2 Análise de falhas do evento 2 através do FTA	65
7.3.3 Análise de falhas do evento 3 através do FTA	67
7.3.4 Análise de falhas do evento 4 através do FTA	68
7.3.5 Análise de falhas do evento 5 através do FTA	70
8 Considerações Finais	74
Referências	76
APÊNDICE A – Banco de Dados	79

1 Introdução

A necessidade em ascensão quanto a melhoria da qualidade de produtos e serviços que culminam na satisfação dos clientes, tem popularizado várias metodologias referentes a área de análise de riscos. Essas ferramentas possuem como objetivo garantir ou melhorar a confiabilidade dos produtos e processos, dessa forma, diminuindo as chances de um item apresentar uma falha durante o seu ciclo de vida útil (FAGUNDES, 2004).

Com uma economia globalizada, as empresas tornaram-se mais competitivas e ambiciosas quanto a procura pela otimização da performance de seus processos e equipamentos. Para que um processo produtivo não sofra com paradas não programadas, originadas por falhas, faz-se necessário manter a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos em alta, sendo dever em termos de manutenção, principalmente na área da engenharia, garantir que os índices mantenham-se positivos, realizando estudos frequentemente, avaliando as taxas e modos de falhas, de maneira a customizar os planos de manutenção com o intuito de manter o processo contínuo (LIMA, 2018).

Segundo LINSINGEN (2008), sistemas hidráulicos são conjuntos de elementos associados de maneira conveniente que utilizam um determinado fluido como energia através do transdutor, é possível obter através desse recurso a transmissão e o controle de forças e movimentos. Já para sistemas pneumáticos, a energia utilizada para ser transformada em controle e transmissão de forças e movimentos é gerada a partir do ar comprimido.

De acordo com NEGRI (2001), os acionamentos hidráulicos e pneumáticos estão presentes em diversas situações onde há a transferência de energia, fornecendo força e movimento para empresas de diversos segmentos. Esses elementos podem ser encontrados em indústrias como em Têxtil, na Engenharia Médica, Madeireira, Mineiração, Máquinas Agrícolas, Robótica, Construção Civil, etc (IVANTYSNOVA, 1998).

Diante do que foi supracitado, a confiabilidade se tornou uma variável imprescindível para manutenção da ótima performance de uma empresa perante seus processos e equipamentos, e a análise de riscos é vista como um subterfúgio valioso para a garantia de uma alta confiabilidade de sistemas mecânicos, como os sistemas

hidráulicos e pneumáticos. Dessa forma, é notória a necessidade de empregar ferramentas da análise de falhas nos componentes hidráulicos e pneumáticos.

Este trabalho utilizará ferramentas provenientes da análise de falhas: A Análise de Modo de Falha e seus Efeitos (FMEA), a Análise da Árvore de Falhas (FTA) e a Análise por Árvore de Eventos (ETA) como meio para obtenção de uma maior confiabilidade e maneabilidade nos componentes citados anteriormente.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo sobre o processo de análise de falhas em componentes hidráulicos e pneumáticos.

2.2 Objetivos Específicos

- 1) Realizar uma revisão bibliográfica sobre as ferramentas de análise de falha, tais como, FMEA, FTA e ETA e suas aplicações em sistemas hidráulicos e pneumáticos.
- 2) Analisar as estruturas funcionais dos circuitos e componentes hidráulicos e pneumáticos.
- 3) Avaliar principais falhas apresentadas em sistemas hidráulicos e pneumáticos.
- 4) Promover uma discussão ressaltando a importância das ferramentas de análise de falhas supracitadas no item 1 e mostrar sua aplicabilidade para sistemas hidráulicos e pneumáticos.
- 5) Avaliar estudos de casos falhas em sistemas hidráulicos e pneumáticos utilizando as ferramentas de análise de falhas.

3 Justificativa

Os sistemas hidráulicos e pneumáticos, assim como, outros sistemas mecânicos estão sujeitos a diferentes modos de falhas. Essas falhas prejudicam o atendimento de sua função. Além disso, estes sistemas utilizam fluidos na transformação de energia e o sistema de controle dos mesmos, na maioria das vezes, é realizado por meio de circuitos elétricos ou eletrônicos. Desta forma, devido as estas características, diferentes modos de falhas se apresentam nestes sistemas, necessitando métodos sistêmicos para realizar o processo de análise da falha dos mesmos.

4 Limitações

O vigente estudo e a aplicação das ferramentas serão realizados em componentes hidráulicos e pneumáticos disponíveis no laboratório didático de automação industrial. A escolha foi feita por ser de fácil acesso para o aluno e por possuir os componentes necessários que viabilizam a concretização do estudo. Dessa forma, a aplicação destas análise em componentes hidráulicos e pneumáticos industriais deverá ser ponderada e avaliada com as devidas especificidades e aplicações.

5 Revisão da Literatura

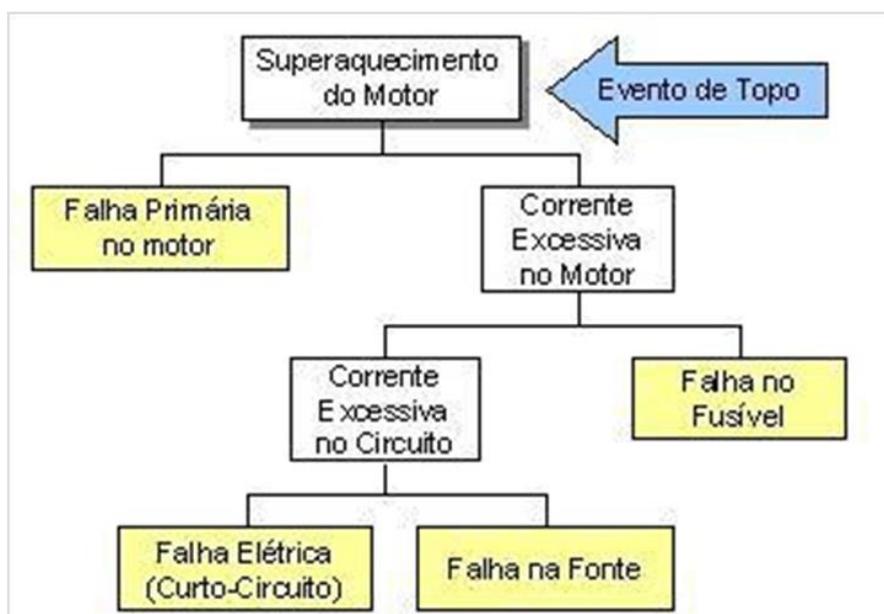
Neste capítulo serão abordados conceitos para a realização de uma revisão da literatura acadêmico-científica, necessária para o desenvolvimento deste trabalho, de forma a explicar conceitos vinculados a Métodos de Análise de Falhas, em especial abordando sobre as metodologias FMEA, FTA e ETA.

Também serão ressaltados conhecimentos vinculados à área de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos.

5.1 Métodos de Análise de Falhas

O processo de análise de falha é visto como crucial para a manutenção de qualquer organização. Empregando essas ferramentas, se torna possível a identificação das causas raízes das falhas e não conformidades e melhorar a confiabilidade e disponibilidade de um sistema. As técnicas que possuem essa finalidade, possuem como objetivo a identificação da causa do problema e sugerem uma solução para o tratamento das não conformidades causadoras do problema, que possuem vínculo ao decréscimo na confiabilidade de sistemas (BRAIDOTTI, 2016).

Figura 1 - Exemplo de Método de Análise de Falha – FTA.



Fonte: Hayrton, 2010.

Os métodos de análise de falha são concebidos como procedimentos sistemáticos e modular que criam conhecimentos sobre não conformidades em sistemas, com o objetivo de melhorar sua confiabilidade e manutenibilidade. O método pode ser de característica indutiva (botton up) ou dedutivo (top down) (PORCIÚNCULA, 2017).

De acordo com DESCARTES (2014), no método dedutivo é apontada uma hipótese e, através da dedução, é definida a causa da não conformidade, permitindo assim a tomada de uma solução para o problema. Já o método indutivo é visto como o contrário do método dedutivo, isso porque ao analisar um sistema, é realizado um processo de indução para chegar a uma ideia maior. De acordo com BRAIDOTTI (2016), a utilização de métodos para Análise de Falhas culmina nos seguintes benefícios:

1. Análise e definição clara da falha;
2. Uso da equipe para solução de falhas;
3. Identificação das causas fundamentais;
4. Elaboração de Planos de trabalho para bloqueio e correção das causas identificadas;
5. Verificação da Efetividade dos planos de ação;
6. Propiciar a melhoria contínua dos processos;
7. Definir as medidas de prevenção contra o ressurgimento da causa e consequente falha;
8. Utilizar ferramentas para a solução e análise dos problemas, como gráfico de causa e efeito (Ishikawa), Brainstorming, Gráficos de Pareto.

5.2 Análise do tipo e efeito da falha (FMEA)

O método de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), surgiu em 1949, sendo utilizada pelo exército americano para verificar sua eficiência e identificar possíveis falhas em seus sistemas e equipamentos. Nos anos 60, a metodologia foi aprimorada e desenvolvida pela NASA, quando foi adaptada para atender demandas nos setores aeronáuticos, sendo considerada até mesmo no projeto Apollo. Entretanto, essa ferramenta atingiu o seu maior sucesso na década de 70, sendo utilizada no setor automobilístico e tornando-

se uma ferramenta de suma importância para empresas nessa área, na qual considera essa metodologia até hoje (FMEA, 2019).

A metodologia FMEA é definida como uma ferramenta utilizada de maneira sistemática, realizando a identificação de potenciais falhas de um processo, projeto e sistemas, dessa forma viabilizando a minimização ou eliminação de riscos vinculados. Conforme supracitado, o intuito primordial do FMEA é a redução e/ou eliminação de potenciais falhas associadas, garantindo uma maior confiabilidade em termos de resultados.

5.2.1 Conceitos do FMEA e etapas para a obtenção do seu sucesso

O FMEA é definido como uma análise indutiva que detalha componente por componente, de maneira sistemática, apresentando todos os modos de falha possíveis e conseqüentemente identificando seus efeitos originados a partir desses fenômenos. Por menor que sejam os modos de falha, ou de mau funcionamento de qualquer componente, em um processo será identificado e analisado para aferir seu efeito em etapas maiores do processo (KURAMOTO, 1996).

5.2.2 Tipologia para o FMEA

Existem quatro tipos de FMEA que se enquadram em setores diferentes, embora todos possuem o objetivo em comum: identificar falhas que tenham potencial para prejudicar o consumidor e/ou o produtor do serviço ou produto. A sua diferença está presente na forma de enxergar como os riscos são atribuídos e na nomeação das componentes envolvidas.

De acordo com STAMATIS (1995), o FMEA pode ser aplicado em sistemas, projetos, processos e serviço, e o autor explica que:

1) FMEA de Sistema - É utilizado para analisar sistemas e subsistemas, compreendendo desde as fases iniciais de concepção até o projeto. Possui o intuito de realizar uma análise dos potenciais modos de falhas vinculados ao sistema, apresentados por uma deficiência do próprio sistema.

2) FMEA de Projeto – É utilizado para analisar produtos antes de serem processados. Seu objetivo é analisar os potenciais modos de falhas apresentados por deficiências do projeto.

3) FMEA de Processo – É utilizado para analisar os processos vinculados a fabricação ou montagem de um produto. Possui como objetivo realizar uma análise dos modos de falhas gerados a partir das etapas de processo ou montagem.

4) FMEA de Serviço – É utilizado para analisar os serviços antes que o cliente tenha contato com o trabalho. Possui como objetivo analisar os modos de falhas gerados a partir das deficiências do sistema ou processo.

Uma peculiaridade dessa metodologia é o Número de Prioridade de Risco (NPR), que é o resultado da combinação de três variáveis as quais para serem mensuradas necessitam de uma análise quantitativa para estabelecer a probabilidade de falha ou de confiabilidade do sistema e qualitativa para determinar os efeitos das não conformidades provenientes dos componentes, atribuindo níveis de criticidade aos modos de falhas, as variáveis consideradas são: a severidade (S), ocorrência (O) e a detecção (D) (SAXER, 2015), conforme a equação (1)

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D} \quad (1)$$

A severidade pode ser concebida como o resultado do efeito potencial das falhas de cada componente em um sistema. Severidade é uma classificação relativa, dentro do escopo do FMEA individual (AIAG, 2008). As Tabelas 1 e 2 apresentam exemplos de critérios para a classificação da severidade.

Tabela 1 – Critérios sugeridos com efeito no Cliente para Severidade.

Efeito	Critérios: Severidade do Efeito no Produto (Efeito no Cliente)	Índice
Falha ao atender os Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	Sem aviso prévio, o Modo de Falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamento governamental.	10
	Com aviso prévio, o Modo de Falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamento governamental.	9
Perda Parcial/Completa da Função Primária	Perda da função primária (veículo operável, não afeta a operação segura do veículo).	8
	Degradação da função primária (veículo operável, mas com nível reduzido de desempenho).	7
Perda Parcial/Completa da Função Secundária	Perda da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência estão inoperáveis).	6
	Degradação da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência apresentam nível reduzido de desempenho).	5
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido pela maioria dos clientes (<75%).	4
Incômodo	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por mais que metade dos clientes (<55%).	3
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por clientes específicos (<25%).	2
Nenhuma consequência	Nenhuma consequência perceptível.	1

Fonte: AIAG, 2008.

Tabela 2 – Critérios sugeridos com efeito na Fabricação para Severidade.

Critérios:	
Efeito	Severidade do Efeito no Processo (Efeito na Fabricação)
Falha ao atender os Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	Sem aviso prévio, pode expor o operador ao perigo (de máquina ou montagem).
Interrupção Maior	Todos produtos podem ser refugados. A linha de produção pausada ou para de embarque.
Interrupção Significante	Um percentual do lote de produção pode ser refugado. Desvio do processo primário, incluindo a redução na velocidade da linha de produção resultando no acréscimo de mão de obra.
Interrupção Moderada	Todo o lote de produção pode ser retrabalhado fora da linha e aceito. Um percentual do lote de produção pode ser retrabalhado fora da linha e aceito. Todo o lote de produção pode ser retrabalhado na estação, antes de ser processado. Um percentual do lote de produção pode ser retrabalhado na estação, antes de ser processado.

Fonte: AIAG, 2008.

A ocorrência é mensurada como a probabilidade de que uma específica causa de falha ocorrerá. O número de classificação das chances de uma falha acontecer possui um significado relativo, ao contrário de um valor que sirva como referência para todas as falhas (AIAG, 2008). A Tabela 3 apresenta os índices de probabilidades sugeridos para determinados números de ocorrências.

Tabela 3 – Critérios sugeridos na análise de Ocorrências.

Probabilidade	Probabilidade de falha	Índice
Muito alta: a falha é quase inevitável	1 em 10	10
	1 em 20	9
Alta: muitas falhas	1 em 50	8
	1 em 100	7
	1 em 500	6
	1 em 2.000	5
Moderada: falhas ocasionais	1 em 10.000	4
	1 em 100.000	3
	1 em 1.000.000	2
Baixa: poucas falhas	-	1
Remota: a falha é improvável de ocorrer	-	1

Fonte: AIAG, 2008.

Existem diversos métodos de implantar o FMEA oriundo de diferentes autores, DIAS (2011) sugere a aplicação na seguinte ordem:

1. Definir o objeto a ser analisado (sistema, subsistema, componentes etc.);
2. Definir a equipe;
3. Analisar funcionalmente e identificar as funções do item a ser analisado;
4. Identificar os modos de falha e efeitos;
5. Identificar as originalidades dos problemas e os controles atuais;
6. Avaliar a criticidade (quando necessário);
7. Levantar medidas de solução das não conformidades apresentadas;
8. Reavaliar os índices de severidade, ocorrência e detecção após a implantação das medidas do passo anterior.

Dias (2011) apresenta um exemplo para ilustrar como ficaria o resultado após a aplicação das etapas citadas anteriormente, a Figura 2 mostra este exemplo. Observando a Figura 2 percebe-se que na coluna 1, são fornecidas as informações do item o qual estaria sendo analisado e qual a sua função para o sistema. Na coluna 2, é apresentado o modo de falha desse item, na coluna 3 é exposto as consequências geradas a partir desses modos de falha enquanto, na coluna 4 é atribuído o valor de severidade dos efeitos detalhados na coluna anterior. Na coluna 5 é exposto as variáveis responsável por causar o modo de falha e, na coluna seguinte, é atribuído o índice de ocorrência. Na coluna 7 é registrado os meios de controle existentes que servem para prevenir ou detectar os modos de falha, na coluna 8 é atribuído índice de dificuldade de detecção para assim, atribuir o valor de “número de prioridade de risco” (NPR) que deverá ser apresentado na coluna 9, o valor apresentado nessa coluna está relacionado com a prioridade para análise.

Figura 2 - Exemplo de análise realizada por FMEA.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA DE PROJETO)

Sistema FMEA nº 1234 Página 1 de 1
 Sub-sistema Responsável pelo projeto **Body Engineering**
 Componente **01.03/Body Closures** Preparado por **A. Tate - X6412 - Body Engr**
 Ano(s)/programa(s) **199X/Lion 4dr/Wagon** Data chave **9X 03 01 ER** Data (Orig.) **8X 03 22 (Rev.) 8X 07 14**
 Equipe principal **T. Fender-Car Product Dev., Childers-Manuf., J. Ford-Assy Ops (Dalton, Fraser, Henley Assembly Plants)**

Item / Função	Modo de falha potencial	Efeito potencial	Causas / Mecanismos potenciais	Controles atuais	N P D R	Ações recomendadas	Responsável e meta para finalização	Ações executadas	S O D R	N P
1 Porta dianteira L.H H8HX-0000-A • Entrar e sair do veículo • Proteção dos ocupantes contra o tempo, ruído, e impacto lateral	2 Painel inferior de dentro da porta corroído	3 Deterioração da porta, levando a: • Aparência insatisfatória devido à ferrugem através da pintura ao longo do tempo • Função da porta no interior prejudicada	4 Gume superior da aplicação da proteção de cera especificado para o interior do painel é muito baixo	6 Teste de durabilidade e geral do veículo T-118, T-09, T-301	7 9	9 Adicionar um teste de corrosão acelerada em laboratório	Tate-Boby Engrg 8X 09 30 11	Baseado nos resultados do teste (nº 1481) a especificação para o gume superior sub 125mm	7 2 2	2 8
			5 Especificação da espessura da cera é insuficiente	4 Teste de durabilidade e geral do veículo - como acima	7 9 6	10 Adicionar um teste de corrosão acelerada em laboratório • Fazer um DOE (<i>Design of Experiments</i>) da espessura da cera	Tate-Boby Engrg 9X 01 15 12	Os resultados do teste (nº 1481) mostraram que a espessura especificada é adequada. DOE mostrou que variação de 25% na espessura é aceitável	7 2 2	2 8

Fonte: (DIAS apud. SAE, 2011).

Após o preenchimento das nove primeiras colunas, na coluna 10 deverá conter as medidas atribuídas para redução do NPR e conseqüentemente do modo de falha. Na coluna 11 deverá ser atribuído o responsável por implantar as medidas da coluna anterior e verificar qual o comportamento do objeto de análise perante as ações. Na coluna 12 será descrito as ações realizadas e nas últimas quatro colunas (13, 14, 15 e 16) deverão ser escritos os novos índices de severidade, ocorrência, detecção e número de prioridade de risco.

5.3 Análise da árvore de falhas (FTA)

Em 1962, a técnica da Árvore de Falhas (FTA – Fault Tree Analysis) foi introduzida por H. A. Watson dos laboratórios Bell Telephone, tendo como aplicação da ferramenta para a análise do sistema de lançamento de um míssil intercontinental Minuteman (DIAS apud. RAUSAND, 2011). Enquanto para o campo acadêmico, os primeiros artigos que relacionavam o FTA foram publicados no ano de 1965, no Simpósio de Segurança patrocinado pela Universidade de Washington e a Boeing Company (DIAS apud. REASON, 2011).

A FTA é uma metodologia que possui como intuito a melhoria na confiabilidade de processos ou produtos, utilizando a técnica de análise sistemática das falhas vinculadas a um evento. Essa metodologia é uma ferramenta dedutiva e possui como característica um pensamento reverso, isso é, se escolhe um evento visto com a necessidade de analisar, identificam-se os processos anteriores vinculados ao primeiro, assim podendo relacionar de maneira lógica as causas básicas que geraram o evento escolhido, outra característica desse modo é a utilização da Álgebra Booleana com portas lógicas do tipo: “E” e “OU” para estruturação e relação das causas que implicam no evento de topo.

5.3.1 Conceito e Metodologia para aplicação da FTA

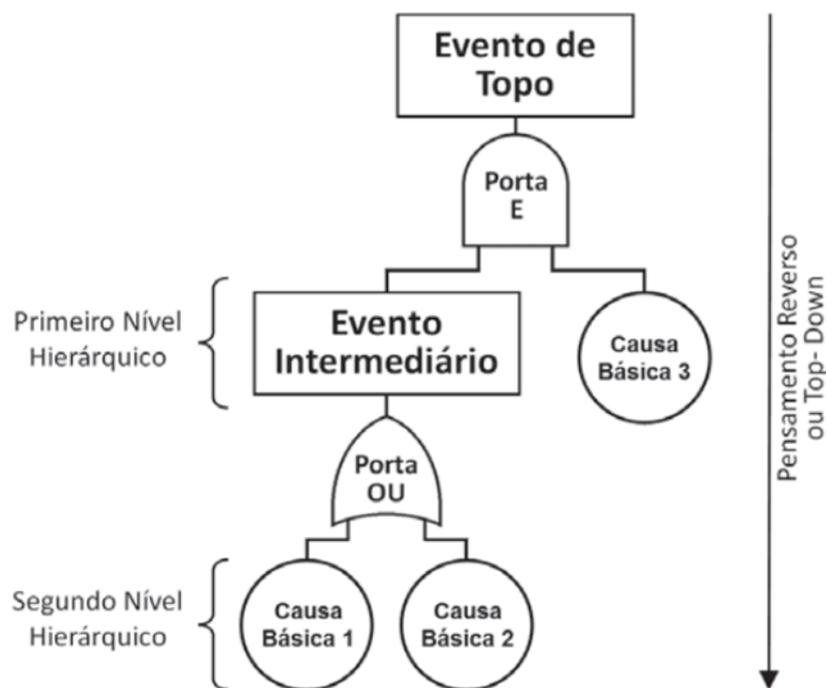
Conforme introduzido anteriormente, a FTA é uma metodologia de formato botton-up. De acordo com SMITH (2000), a FTA é uma ferramenta gráfica que relaciona o evento topo com as combinações de eventos intermediários. Em uma terminologia de árvore de falhas, o modo de falha no sistema é definido como evento topo. A FTA abrange três tipos lógicos e dois símbolos principais. Assim são criadas

portas lógicas e abaixo estão as representadas as falhas. Dependendo da natureza da porta lógica, as saídas das portas representam uma prorrogação de falha. Os três tipos de possibilidades lógicas são:

- 1) Porta “OU” - significa que qualquer entrada faz com que a saída aconteça;
- 2) Porta “E” - pelo qual todas entradas precisam ocorrer para que a saída aconteça;
- 3) O porta votado - similar à porta E, neste são necessárias duas ou mais ocorrências para que a saída aconteça.

Para melhor compreensão da maneira que a ferramenta é estabelecida graficamente, a Figura 3 ilustra como é estruturado uma árvore de falhas:

Figura 3 – Representação gráfica da árvore de falhas.



Fonte: Dias, 2011.

5.3.2 Álgebra Booleana aplicada à FTA

Os conceitos da Álgebra Booleana foram criados pelo matemático inglês George Boole, na metade do século 19. A Álgebra Booleana é utilizada na FTA para resumir em uma equação a relação lógica das causas básicas que resultam no evento de topo. Para a formulação das equações, a Álgebra Booleana estabelece as seguintes regras:

- 1) Um conjunto representativo das causas básicas e/ou eventos intermediários ou de topo: $A = \{a, b, c, \dots\}$;
- 2) Duas operações binárias: o sinal de soma (+) faz menção a operação lógica “OU” e o de multiplicação (\cdot) é representativo da operação lógica “E”.
- 3) Dois elementos distintos: O zero “0” representa a ausência da causa e/ou evento e a unidade “1” faz menção a presença da causa e/ou evento.

Tabela 4 – Equacionamento da Álgebra Booleana frente a FTA.

Porta	Equação Booleana	Tabela Verdade		
		A	B	Saída
E	Saída = $A \cdot B$	0	0	0
		0	1	0
		1	0	0
		1	1	1
OU	Saída = $A + B$	0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	1

Fonte: DIAS (2011).

Através das equações representativas do evento de topo se torna possível, com a aplicação das propriedades da lógica Booleana, estruturar a árvore de falhas de maneira simples e desenvolver a análise quantitativa do determinado estudo.

Tabela 5 – Propriedades da álgebra booleana.

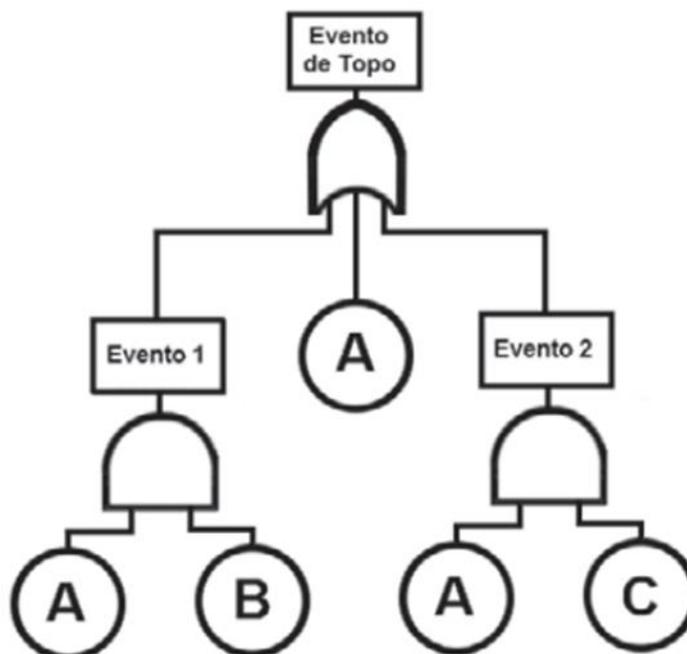
Propriedade	Desenvolvimento	
Associativa	$(A + B) + C = A + (B + C)$	$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
Comutativa	$A + B = B + A$	$A \cdot B = B \cdot A$
Idempotente	$A + A = A$	$A \cdot A = A$
Absorção	$A + (A \cdot B) = A$	$A \cdot (A + B) = A$
Distributiva	$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$	$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$
Identidade	$A + 1 = 1 \mid A + 0 = A$	$A \cdot 1 = A \mid A \cdot 0 = 0$
Complementar	$A + (1 - A) = 1$	$A \cdot (1 - A) = 0$
Teorema de Morgan	$((1 - A) + (1 - B)) = (1 - A) \cdot (1 - B)$	$((1 - A) \cdot (1 - B)) = (1 - A) + (1 - B)$

Fonte: Dias (2011).

2.3.3 Exemplos genéricos de aplicação da Álgebra Booleana em um FTA.

Exemplo 1: Calcule a equação do evento de topo, simplificando todas as etapas da árvore de falhas, em seguida, reproduza a tabela verdade da estrutura da Figura 4:

Figura 4 – Estrutura do FTA para o exemplo 1.



Fonte: Dias, 2011.

Equações dos Eventos 1 e 2:

$$\begin{aligned} \text{Evento 1} &= A \times B \\ \text{Evento 2} &= A \times C \end{aligned} \tag{1}$$

Equação do Evento de Topo:

$$\begin{aligned} \text{Evento de Topo} &= A + \text{Evento 1} + \text{Evento 2} \\ \text{Evento de Topo} &= A + (A \times B) + (A \times C) \end{aligned} \tag{2}$$

Adotando a propriedade da Absorção:

$$\begin{aligned} A + (A \times B) &= A \\ \text{Evento de Topo} &= A + (A \times C) \end{aligned} \tag{3}$$

Adotando mais uma vez a propriedade da Absorção:

$$\begin{aligned} A + (A \times C) &= A \\ \text{Evento de Topo} &= A \end{aligned} \tag{4}$$

Dessa forma, podemos estruturar a tabela verdade, conforme vimos anteriormente:

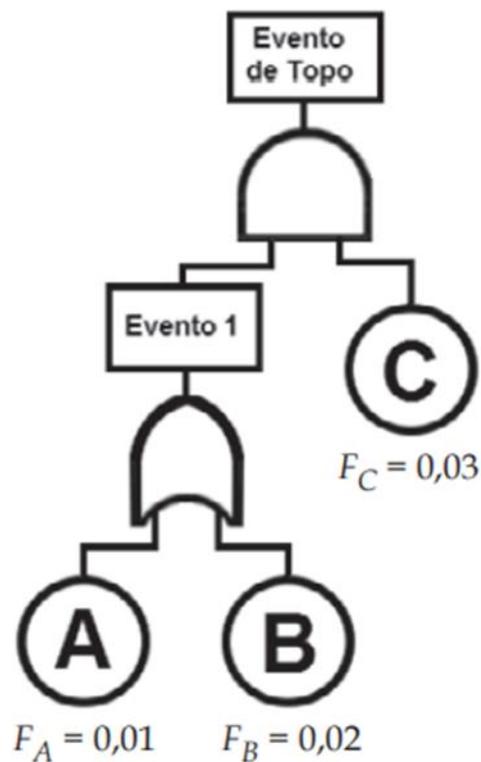
Tabela 6 – Tabela verdade de análise do exemplo.

A	B	Evento 1 $A \cdot B$	C	Evento 2 $A \cdot C$	Evento de Topo $A + \text{Evento 1} + \text{Evento 2}$
0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1

Fonte: Dias, 2011.

Exemplo 2: Dada a árvore de falha na figura 5 e considerando independência das causas básicas (A, B e C), determinar a equação do evento de topo, sua probabilidade ocorrência e a confiabilidade do sistema:

Figura 5 – Estrutura do FTA para o exemplo 2.



Fonte: Dias, 2011.

5.3.4 Relação FTA x FMEA

De acordo com Dias (2011), as técnicas Árvore de Falhas (FTA) e Análise dos Modos de Falha e Efeito (FMEA) são utilizadas frequentemente em conjunto, isso porque são vistas de forma complementar. O autor ainda estabelece as seguintes diferenças entre as ferramentas que servem como acréscimo de uma para outra:

Enquanto a FTA é mais visual e nela é viável realizar uma análise de ocorrência ou não de um evento principal, o FMEA é possível abordar sobre os eventos

provenientes da função de cada um dos itens do sistema, e os respectivos modos de falha, efeito e criticidade para o componente que está em análise.

Na FTA a abordagem é do tipo top-down (de cima para baixo), isso é, a análise é realizada através de um evento não conforme e a partir dele é investigado as causas lógicas que resultam no fenômeno indesejado. Enquanto no FMEA, a abordagem é bottom-up (de baixo para cima), ou seja, a análise é realizada a partir de um modo de falha e assim é investigado as consequências geradas a partir da sua ocorrência no sistema.

Abordando de forma qualitativa, o FMEA relaciona todos os modos de falhas, suas origens e consequências geradas para o sistema, já a FTA estuda um único efeito não conforme por vez para, em seguida, estruturar um relacionamento lógico das causas básicas que resultam no evento de topo. De forma quantitativa, para a FMEA, os modos de falha são diferenciados e classificados a partir da sua criticidade, enquanto para a FTA, a contagem é realizada pela determinação da probabilidade de ocorrência de um evento de topo em decorrência das chances de ocorrer determinada causa(s) básica(s).

5.4 Análise de árvore de eventos

A técnica de análise por Árvore de Eventos (ETA – Event Tree Analysis) surgiu por volta dos anos 70 em um estudo de análises de risco da usina nuclear WASH-1400. Na época, a equipe percebeu que a utilização da técnica de análise por Árvore de Falhas poderia ser viável, no entanto, o resultado seriam árvores de falhas enormes e complexas, dessa forma, aplicaram o ETA como forma de amenizar a análise em forma gráfica, enquanto utilizava o FTA (ERICSON, 2005).

O ETA é uma ferramenta indutiva para análise de possíveis respostas provenientes de um evento inicializador (normalmente representado por uma falha). Esta metodologia pode ser utilizada tanto para análises qualitativas, tendo como objetivo de poder enxergar os eventos e a sua interação, quanto para análises quantitativas, na qual são consideradas as probabilidades de ocorrência de um evento (DIAS, 2011).

5.4.1 Diferenças entre FTA e ETA

Segundo SMITH (2000), a principal divergência entre as ferramentas entre árvore de eventos e a árvore de falhas é que na primeira a análise é modelada em ordem perante os acontecimentos, para sistemas que envolvem operações sequenciais, pode ser consideravelmente mais viável realizar uma análise por meio da árvore de eventos do que pela árvore de falhas. Outra diferença entre essas ferramentas é que para o ETA, são avaliados dois resultados possíveis ao contrário do único apresentado pela FTA.

O autor ainda evidencia algumas diferenças apresentadas pelas duas metodologias as quais são ilustradas na Tabela 7:

Tabela 7 – Diferenças das ferramentas ETA e FTA

ETA	FTA
- Mais fácil de ser analisada por um não especialista.	- Lógica menos óbvia.
- Permite diversos resultados.	- Permitir um evento de topo.
- Permite eventos sequenciais.	- Lógica estática (faz com que a sequência seja ignorada).
- Permite exploração intuitiva dos resultados.	- O modelo é do tipo top-down, necessitando de inferências.
- Permite feedback de probabilidades fixas.	- Probabilidades, taxas e tempos fixos.

Fonte: Autoria própria (2019).

5.4.2 Conceitos e aplicação da ETA

A ETA é considerada uma ferramenta para análises de risco adequada quando existe uma relação entre diversos tipos de eventos, os tipos de falhas podem estar representados por: falhas de componente, intervenção humana, fenômeno ambiental ou falha de software (DIAS, 2011).

Conforme escrito anteriormente, uma propriedade da metodologia ETA é o fato da ferramenta compreender eventos sequenciais, respeitando a ordem cronológica das ocorrências dos eventos. Dessa forma, se um evento B tivesse que ocorrer, seria necessário que o elemento A tivesse ocorrido. Na figura a seguir as letras a, b e c

indicam a ocorrência dos eventos A, B e C respectivamente, enquanto as simbologias restantes (\bar{B} , \bar{C}) indicam a não ocorrência dos eventos b e c.

Figura 7 – Metodologia para aplicação do ETA.

A	B	C	CENÁRIO	PROBABILIDADE
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	1	$P(a).P(b).P(c)$
		\bar{c}	2	$P(a).P(b).P(\bar{c})$
	\bar{b}	<i>c</i>	3	$P(a).P(\bar{b}).P(c)$
		\bar{c}	4	$P(a).P(\bar{b}).P(\bar{c})$

Fonte: DIAS, 2011.

Na Figura 7, é possível aferir que existem quatro possibilidades de resposta frente ao evento inicializador A, variando dessa forma nos eventos B e C. De acordo com a escolha do cenário a fórmula da probabilidade de ocorrência será adaptada conforme a multiplicação dos elementos os quais ela considera.

Para aplicação da ferramenta, primeiramente deve-se ter ciência de um evento inicial o qual deverá ser considerado referência, esse evento pode ser representado no sistema técnico, um erro humano ou fatores ambientais. Conforme a estipulação do evento inicializador, são estipulados as combinações de eventos que quando integrados resultarão em um efeito/cenário. A ferramenta funciona com eventos que são respondidos de maneira binária, afirmando o acontecimento de um fenômeno ou não.

Dessa forma, conforme DIAS (2011), para montar a árvore de eventos as seguintes etapas deverão ser consideradas:

1. Atribuir o evento inicializador;
2. Relacionar os eventos que possuem potencial para influenciar na geração de um cenário a partir da mudança no comportamento do evento inicial;
3. Estruturar a árvore de forma lógica conforme os possíveis acontecimentos após o evento inicial;
4. Simplificar a árvore;

Uma vez estruturada a árvore, calcular a probabilidade de ocorrência de cada cenário estipulado a partir da multiplicação entre os eventos que possuem relação com o seu respectivo cenário.

5.4.3 Exemplo para cálculo do ETA

A Figura 8 contempla um exemplo genérico de uma árvore de eventos que faz análise de diferentes cenários que culminam na ruptura do vaso de pressão ou não.

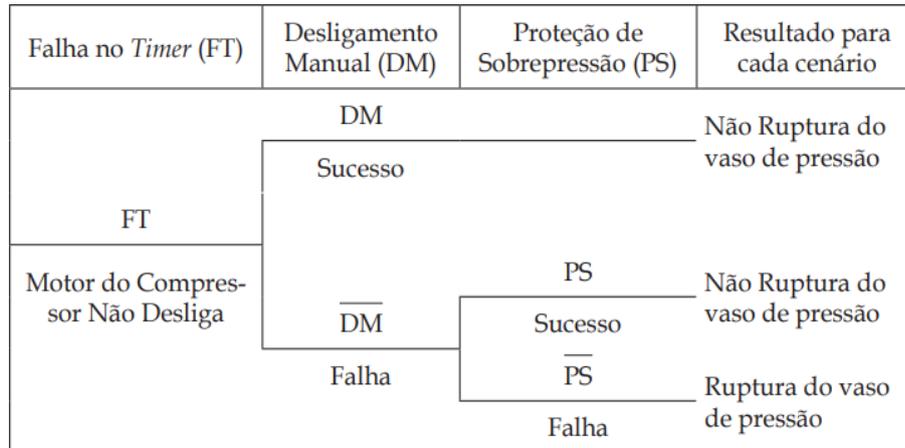
Figura 8 – Exemplo: Ruptura do vaso de pressão.

Falha no <i>Timer</i> (FT)	Desligamento Manual (DM)	Proteção de Sobrepressão (PS)	Resultado para cada cenário
FT	Sucesso	PS	Não ruptura do vaso de pressão
		Sucesso	
Motor do compressor não desliga	Falha	\overline{PS}	Não ruptura do vaso de pressão
		Falha	Ruptura do vaso de pressão

Fonte: Dias, 2011.

Através da interpretação da Figura 8, podemos aferir que a única condição a qual resulta na ruptura do vaso de pressão é quando existe Falha no Timer, isso é, quando o motor do compressor não desliga, e mutuamente falha no Desligamento Manual e Proteção de Sobrepressão. Podemos concluir que no momento que um dos eventos Desligamento Manual e Proteção de Sobrepressão atingem o sucesso, o resultado para o cenário converge para a não ruptura do vaso de pressão, dessa forma, podemos verificar a possibilidade de simplificação da árvore de eventos, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Exemplo simplificado: Ruptura do vaso de pressão.



Fonte: Dias, 2011.

De acordo com a Figura 9, podemos concluir que caso haja sucesso no evento DM, não existe a necessidade de verificar o sucesso no evento PS, pois o resultado permaneceria na não ruptura do vaso de pressão.

Atribuindo probabilidades de acontecimento para cada evento, é possível realizar a análise quantitativa do ETA, calculando dessa maneira o percentual de chances de um cenário ocorrer. Neste caso será atribuído a independência dos eventos, isso é, mesmo que haja sucesso no processo DM, será considerado também as chances do evento seguinte, o PS, de obter sucesso ou não. No exemplo foi atribuído a probabilidade de 95% para cada evento atingir o sucesso, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Análise quantitativa do exemplo: Ruptura do vaso de pressão.

Falha no <i>Timer</i> (FT)	Desligamento Manual (DM)	Proteção de Sobrepressão (PS)	Resultado para cada cenário	Probabilidade de Ocorrência do Cenário
FT = 1,0	DM = 0,95	PS = 0,95	1) Não Ruptura do vaso de pressão	$P1=1,0 \times 0,95 \times 0,95=0,9025$
		Sucesso	2) Não Ruptura do vaso de pressão	$P2=1,0 \times 0,95 \times 0,05=0,0475$
Motor do Compressor Não Desliga	$\overline{DM} = 0,05$	Falha	3) Não Ruptura do vaso de pressão	$P3=1,0 \times 0,05 \times 0,95=0,0475$
		PS = 0,95	4) Ruptura do vaso de pressão	$P4=1,0 \times 0,05 \times 0,05=0,0025$
	Falha	Sucesso		
		$\overline{PS} = 0,05$		
		Falha		

Fonte: Dias, 2011.

Observa-se que o resultado apresentado para cada cenário provém da multiplicação entre os eventos associados, dessa forma o cenário 1 possui probabilidade de 90,25% de acontecer, enquanto os cenários 2 e 3 apresentam 4,75% de chances para cada de acontecer, e por fim o cenário 4 possui 0,25% de chances de ocorrer. Dessa forma, a probabilidade de ruptura do vaso de pressão é de 0,25% enquanto a probabilidade do vaso não romper é de 99,75%.

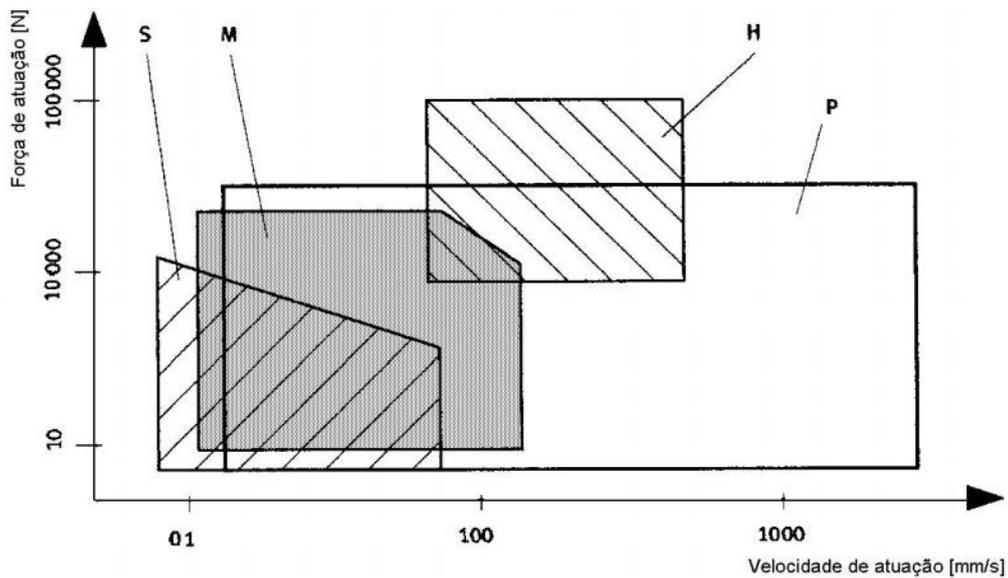
5.5 Conceitos gerais de Acionamentos Hidráulicos e Pneumáticos

Os sistemas hidráulicos e pneumáticos são mecanismos de geração, controle e transmissão de potências que agem através de fluidos pressurizados. Suas diferenças aparecem a partir dos fluidos utilizados por cada sistema, quando pneumático, é utilizado o ar comprimido como meio de transferência de energia e manuseio e alocação de forças, enquanto para a sistemas hidráulicos, são utilizados fluidos como óleos minerais, fluidos à base de água e fluidos sintéticos (NEGRI, 2001).

Os fluidos são líquidos e gases que se movem a partir da ação de tensão de cisalhamento, independente do quão pequena possa ser esta tensão (PORDEUS, 2013). Para sistemas hidráulicos e pneumáticos, conforme os exemplos fornecidos anteriormente, podemos afirmar que para o primeiro, o fluido é do tipo incompressível, o qual não varia seu volume a partir da variação de pressão aplicada, e para o segundo, fluido compressível, sendo aquele que possui instabilidade volumétrica a partir da variação de pressão exercida.

A escolha da tecnologia para utilização depende de diversos aspectos, sejam eles custos, condições ambientais, maneabilidade, confiabilidade etc. A figura a seguir ilustra os domínios da utilização de sistemas hidráulicos (representados pela letra H), conjuntos motor elétrico-fuso (M), pneumática (P) e motor de passo (S), em relação a força e velocidade requeridos para uma aplicação.

Figura 11 – Campos de aplicação de tecnologias para controle e automação.



Fonte: Hesse, 2000.

5.5.1 Particularidades dos Acionamentos Pneumáticos

Conforme supracitado, os sistemas pneumáticos utilizam o ar comprimido como forma de energia para o controle de forças. O ar comprimido é uma de energia mais antigas a ser utilizado, existindo evidencias que o pioneiro na utilização desse fluido como meio auxiliar de trabalho foi Ctesibius, que por volta de dois milênios atrás inventou uma catapulta a ar comprimido.

A pneumática é a ciência que estuda a utilização do ar comprimido para a tecnologia de acionamento e comando, dessa forma, influenciando na atuação dos sistemas que provocam os movimentos dos dispositivos (PAVANI, 2011). Algumas propriedades positivas com relação ao ar comprimido são expostas na seguinte Tabela 8:

Tabela 8 – Propriedades negativas do ar comprimido.

Propriedades negativas do ar comprimido (AC)	
Propriedade	Descrição
Preparação	O ar comprimido requer uma boa preparação. Impureza e umidade devem ser evitadas, pois provocam desgastes nos elementos pneumáticos, oxidação nas tubulações e projeção de óxidos.
Compressibilidade	Não é possível manter uniforme e constante as velocidades dos pistões mediante ar comprimido. Quando é exigível, recorre-se a dispositivos especiais.
Forças	O ar comprimido é econômico somente até determinada força, limitado pela pressão normal de trabalho de 700 kPa (7 bar), e pelo curso e velocidade (o limite está fixado entre 2000 e 3000 N (2000 a 3000 kPa)).
Escape de ar	O escape de ar é ruidoso. Mas, com o desenvolvimento de silenciadores, esse problema está solucionado.
Custos	O ar comprimido é uma fonte de energia muito cara. Porém, o alto custo de energia é compensado pelo custo baixo da instalação e pela rentabilidade do ciclo de trabalho.

Fonte: Pavani, 2011.

Os sistemas pneumáticos possuem características exclusivas, as quais podem revelar um aspecto de vantagem como também de limitação. De acordo com PARKER (2007), os aspectos positivos apresentados na pneumática são com relação a:

1. Incremento da produção: Com investimento pequeno.
2. Redução dos custos operacionais: A rapidez nos movimentos pneumáticos e a libertação do operário (homem) de operações repetitivas possibilitam o aumento do ritmo de trabalho, aumento de produtividade e, portanto, um menor custo operacional.
3. Robustez dos componentes pneumáticos: A robustez inerente aos controles pneumáticos torna-os relativamente insensíveis a vibrações e golpes, permitindo que ações mecânicas do próprio processo sirvam de sinal para as diversas seqüências de operação. São de fácil manutenção.

4. Facilidade de introdução: Pequenas modificações nas máquinas convencionais, aliadas à disponibilidade de ar comprimido, são os requisitos necessários para introdução dos controles pneumáticos.
5. Resistência à ambientes hostis: Poeira, atmosfera corrosiva, oscilações de temperatura, umidade, submersão em líquidos, raramente prejudicam os componentes pneumáticos, quando projetados para esta finalidade.
6. Simplicidade de manipulação: Os controles pneumáticos não necessitam de operários super especializados para sua manipulação.
7. Segurança: Como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra possíveis acidentes, quer no pessoal, quer no próprio equipamento, além de evitarem problemas de explosão.
8. Redução do número de acidentes: A fadiga é um dos principais fatores que favorecem acidentes; a introdução de controles pneumáticos reduz sua incidência (liberação de operações repetitivas).

Entretanto, desta vez abordando sobre aspectos negativos, PARKER (2007) ressalta os seguintes fatos:

1. O ar comprimido necessita de uma boa preparação para realizar o trabalho proposto: Remoção de impurezas, eliminação de umidade para evitar corrosão nos equipamentos, engates ou travamentos e maiores desgastes nas partes móveis do sistema.
2. Os componentes pneumáticos: São normalmente projetados e utilizados a uma pressão máxima de 1723,6 kPa. Portanto, as forças envolvidas são pequenas se comparadas a outros sistemas. Assim, não é conveniente o uso de controles pneumáticos em operação de extrusão de metais. Provavelmente, o seu uso é vantajoso para recolher ou transportar as barras extrudadas.
3. Velocidades muito baixas: São difíceis de ser obtidas com o ar comprimido devido suas propriedades físicas. Neste caso, recorre-se a sistemas mistos (hidráulicos e pneumáticos).
4. O ar é um fluido altamente compressível: Portanto, é impossível obter paradas intermediárias e velocidades uniformes. O ar comprimido é um

poluidor sonoro quando são efetuadas exaustes para a atmosfera. Esta poluição pode ser evitada com o uso de silenciadores nos orifícios de escape.

5.5.2 Propriedades de sistemas hidráulicos

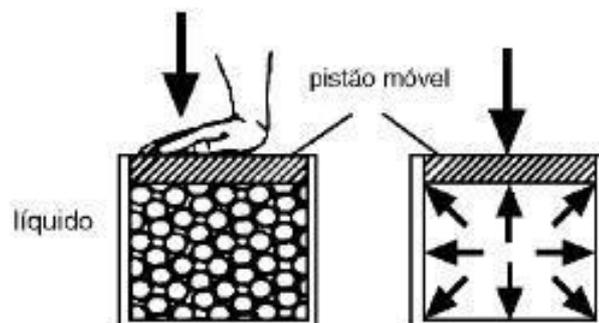
A hidráulica é designada como uma ciência baseada nas características apresentadas por um líquido em repouso e em movimento. A hidráulica de potência se refere a uma fase da hidráulica correspondente a transferência de potência de um local para outro, dessa maneira, sendo fundamental o conhecimento dos princípios de potência hidráulica para conseqüentemente compreender a potência e outras variáveis relacionadas. A hidráulica pode ser dividida em duas partes: a hidrostática, que é uma área proveniente da hidráulica que estuda os fluidos em estado de repouso e a hidrodinâmica, que estuda os fluidos em movimento (AGOSTINI, 2009).

Os sistemas hidráulicos, por sua vez, utilizam o líquido como forma de transmissão de energia e para controle de forças. O líquido é concebido como uma substância constituída de moléculas, e diferentemente dos gases dos sistemas pneumáticos, as moléculas são atraídas umas às outras de forma a ficar compacta, entretanto, as moléculas não se atraem a ponto de ficarem rígidas, no caso em formato sólido (PAVANI, 2011).

Diante o que foi supracitado, o líquido é uma substância relativamente incompressível, isso é, quando as moléculas entram em contato umas às outras por meio de uma força externa, os líquidos apresentam características de sólidos.

Um exemplo desse fenômeno é quando empurramos uma tampa de um recipiente cheio de líquido, quando aplicamos a força no tampão, o líquido recebe e repassa a força para as superfícies de contato do recipiente.

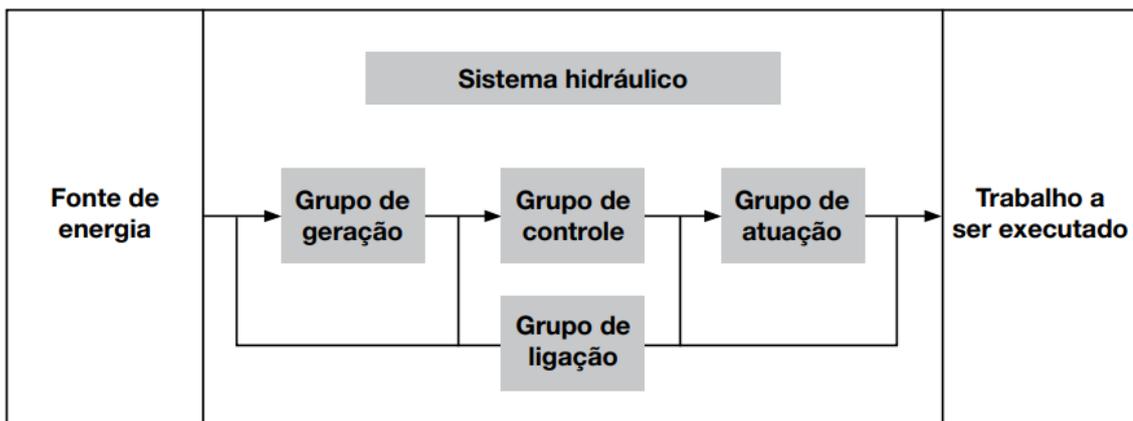
Figura 12 – Força aplicada através de um líquido.



Fonte: Pavani, 2011.

O sistema hidráulico funciona através da fonte de energia, que concede fluido hidráulico para o grupo de geração, etapa a qual a energia mecânica é convertida para energia hidráulica, transferindo o fluido para o grupo de controle onde é controlado a potência hidráulica para ativação do grupo de atuação, etapa a qual ocorre a transformação da potência hidráulica em mecânica, para assim obter como resultado o trabalho a ser executado. O grupo de ligação é responsável por conectar os demais grupos entre si e a fonte de energia. A Figura 13 esquematiza o funcionamento de um sistema hidráulico, conforme escrito anteriormente.

Figura 13 – Funcionamento de um sistema hidráulico.

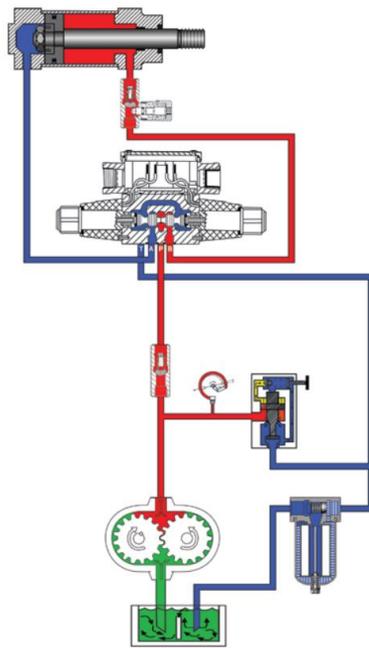


Fonte: Parker, 2007.

Para auxiliar a compreensão sobre o funcionamento do sistema hidráulico, podemos exemplificar cada grupo como os seguintes componentes:

1. Fonte de Energia: Motor elétrico e unidade de bomba;
2. Grupo de Geração: Bomba hidráulica;
3. Grupo de Controle: Comandos e válvulas;
4. Grupo de atuação: Cilindros e motores;
5. Grupo de ligação: Conexões, tubos e motores.

Figura 14 – Circuito hidráulico básico.



Fonte: Parker, 2007.

5.6 Componentes presentes em sistemas hidráulicos e pneumáticos.

Nesta parte são identificados e descritos alguns componentes em sistemas hidráulicos e pneumáticos, de acordo com PARKER (2007).

5.6.1 Meios de fornecimento de energia para Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos.

Para sistemas hidráulicos, devemos considerar a bomba hidráulica como a peça fundamental de um circuito hidráulico, sua função abrange desde a sucção do fluido hidráulico de um reservatório até o descarregamento em uma linha hidráulica confinada, transmitindo energia através do fluido. Por meio da energia hidráulica fornecida pelo sistema, é gerado no fluido uma pressão grande suficiente a superar as dificuldades associadas aos trabalhos propostos, isso é, a pressão de um sistema hidráulico não é criado a partir da bomba, mas resulta das forças exteriores e interiores fornecidas pelo sistema ao escoamento do fluido (LANA, 2005).

O sistema hidráulico também requer um reservatório aonde é armazenado o fluido utilizado em sistemas hidráulicos, além do armazenamento, o reservatório também possui como papel o fornecimento desse fluido. Já para sistemas pneumáticos, o componente fundamental para geração de energia pneumática, por

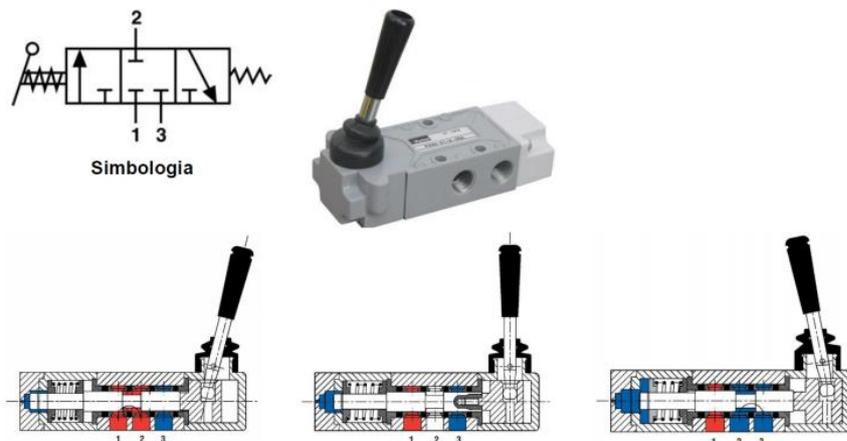
meio do ar comprimido, é o compressor. O compressor é um equipamento originado para o aumento da pressão do ar, exigido conforme a determinação dos trabalhos realizados pelo ar comprimido.

Nos sistemas pneumáticos também é disposto o Lubrifil, esse equipamento executa a filtragem, regulagem de pressão e introdução de óleo para lubrificação de das partes mecânicas dos componentes pneumáticos envolvidos, a utilização desse componente culmina no prolongamento da vida útil dos outros componentes relacionados ao Lubrifil.

2.6.2 Válvula de Controle Direcional

A válvula de controle direcional (VCD) é designada como um componente com vias internas que são conectados e desconectados por uma parte móvel. Seu objetivo é controlar a direção, pressão e/ou vazão do fluido inserido, A Figura 15 mostra foto, representação simbólica e representação em corte de uma VCD.

Figura 15 – Válvula de controle direcional.

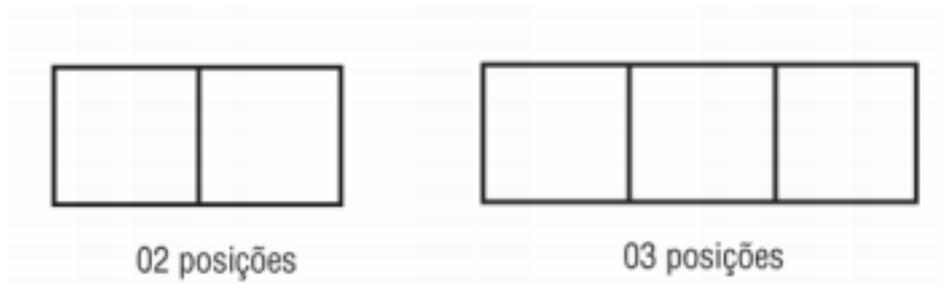


Fonte: Parker, 2007.

A VCD pode ser diferenciada a partir das seguintes características:

1) Número de Posições: É um valor referente a quantidade de manobras (posições) que uma válvula pode adotar, a Figura16 apresenta a representação simbólica destas posição;

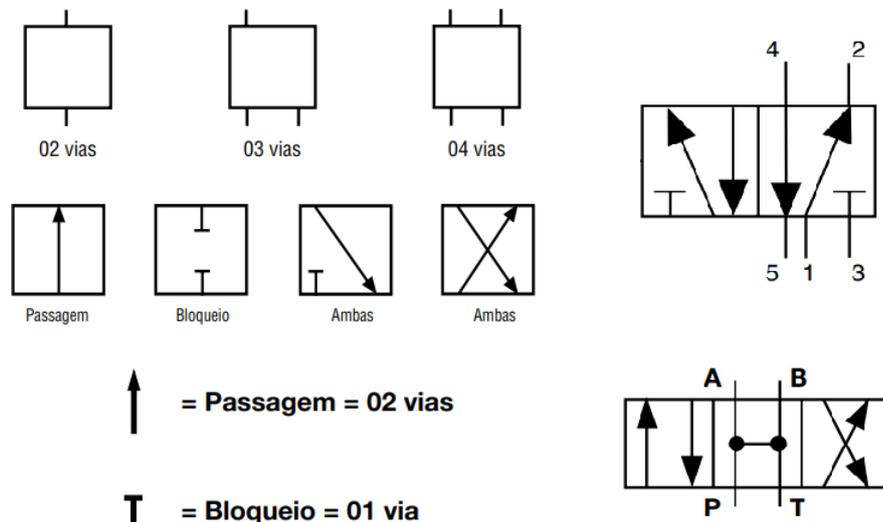
Figura 16 – Posições de uma VCD.



Fonte: Parker, 2007.

2) Número de vias: O número de vias de uma válvula corresponde a quantidade de conexões úteis que uma válvula pode possuir, a identificação de suas vias pode acontecer por números, sendo 1 para alimentação, 2 e 4 para utilização/saída e 3 e 5 para escape ou exaustão, quando a válvula é sistemas pneumática, ou por vias nomeadas de pressão (P), retorno (T) e utilização (A e B), quando a válvula é destinada para sistemas hidráulicos, A Figura 17 mostra a representação simbólicas das vias de uma VCD;

Figura 17 – Vias de uma VCD.

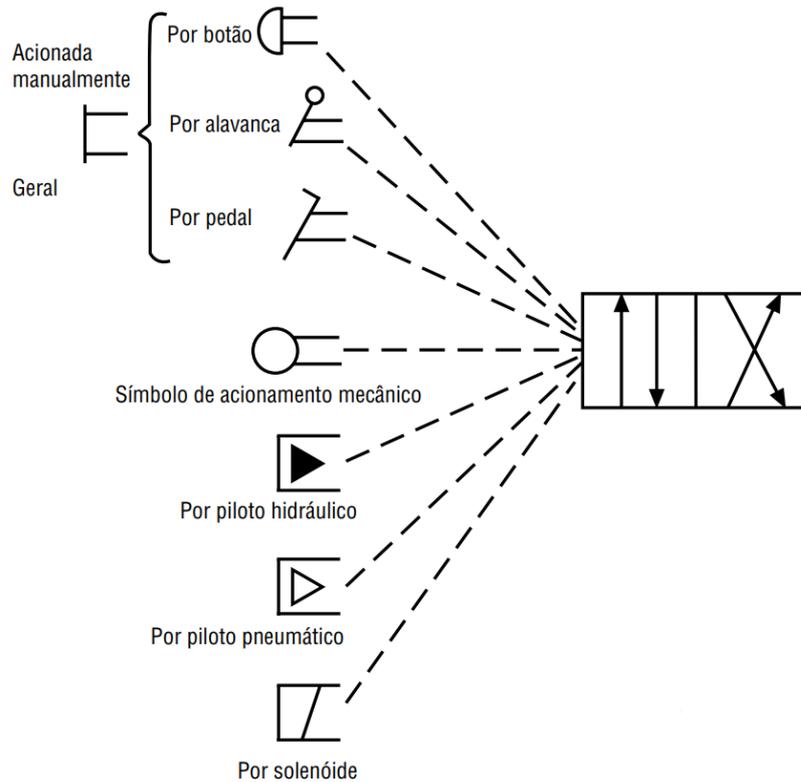


Fonte: Parker, 2007.

3) Posição normal: A posição normal da válvula de controle direcional é a posição em que os elementos internos da mesma se encontram quando não acionada.

4) Tipo de acionamento: Os tipos de acionamentos são inúmeros, para isso, são divididos em grupos, podendo ser: musculares, mecânicos, pneumáticos, elétricos e combinados, a Figura 18 mostra os tipos de acionamentos possíveis.

Figura 18 – Tipos de acionamentos para uma VCD.



Fonte: Parker, 2007.

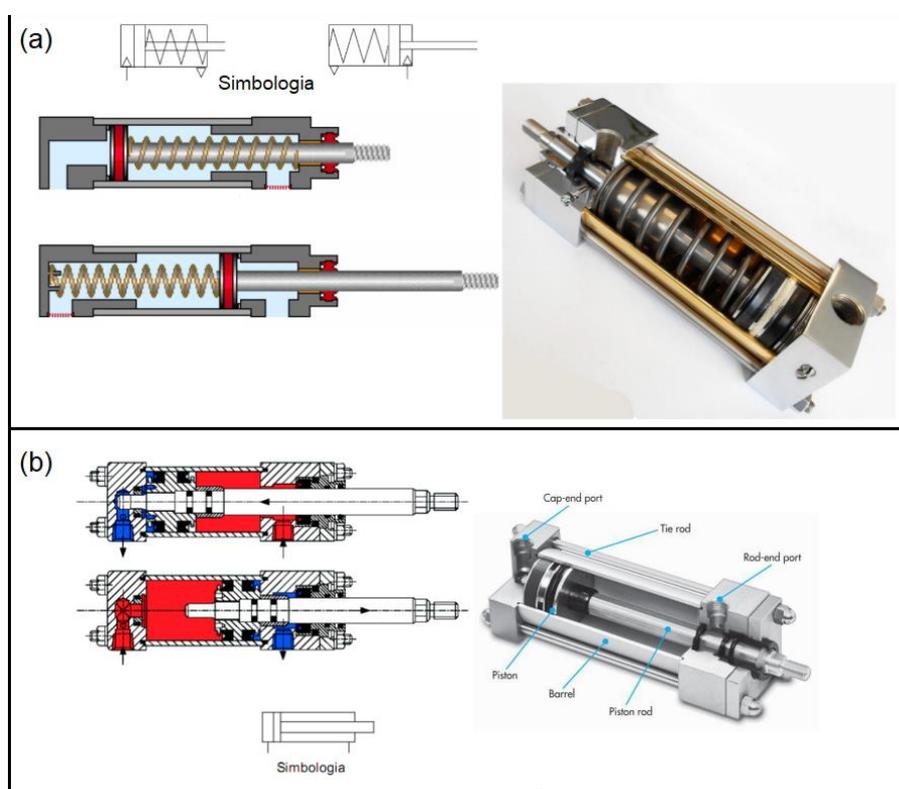
5.6.2 Atuador

O atuador é um componente responsável por representar por converter a energia proveniente do fluido em trabalho, exercendo forças, velocidades e movimentos conforme estabelecido pelos componentes intermediários, como as VCD e as VCF.

Os atuadores estão divididos em três grupos, os que produzem movimentos lineares, são componentes que convertem a energia do fluido em movimento linear ou angular, os que produzem movimentos rotativos, que convertem energia em mecânica por meio do momento tursor contínuo, e por fim os que produzem movimentos oscilantes, que convertem a energia do fluido em mecânica, por meio do momento tursor limitado por um determinado número de graus. Os atuadores podem

ser divididos de acordo com o seu tipo: podendo ser de simples ação: o cilindro recebe essa denominação porque só existe um orifício por onde o fluido entra e sai do seu interior, o fluido utilizado serve para conduzir trabalho em um único sentido de movimentação, podendo ser de avanço ou retorno, ou podendo ser de dupla ação: onde o fluido orienta os dois sentidos de movimentos (avanço e retorno), podendo estes movimentos serem controlados de acordo com as especificações de trabalho. A Figura 19 mostra a simbologia e a estrutura mecânica dos atuadores mais utilizados.

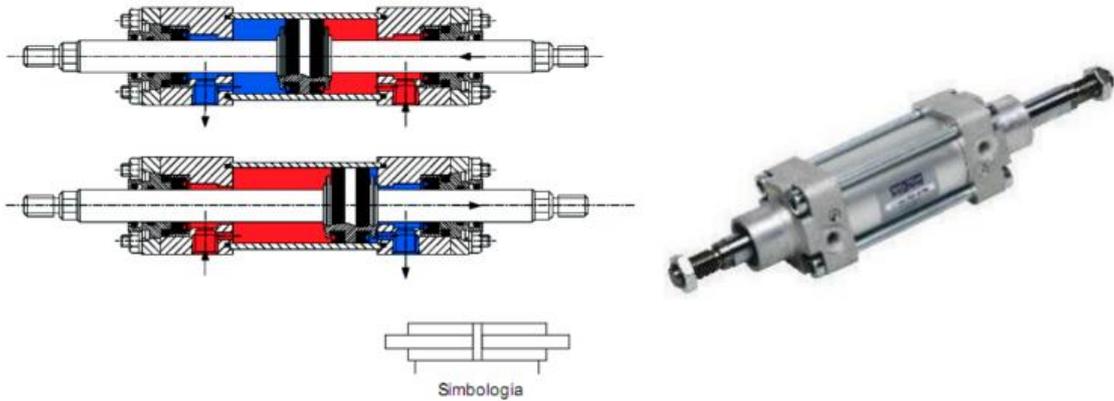
Figura 19 – (a) Atuador de Simples Ação / (b) – Atuador de Dupla Ação.



Fonte: Adaptado de Parker, 2007.

Os cilindros podem estar equipados com amortecimentos, esse dispositivo é destinado para desacelerar os pistões nos fins de curso, prolongando na sua vida útil. Por fim, os cilindros de haste dupla, esse componente possui duas hastes unidas no mesmo êmbolo, que geralmente possui a mesma área, o que permite a realização de forças iguais em ambos os sentidos de movimentação, a Figura 19 mostra representações gráficas do atuador de dupla haste.

Figura 20 – Atuador de Dupla Haste.

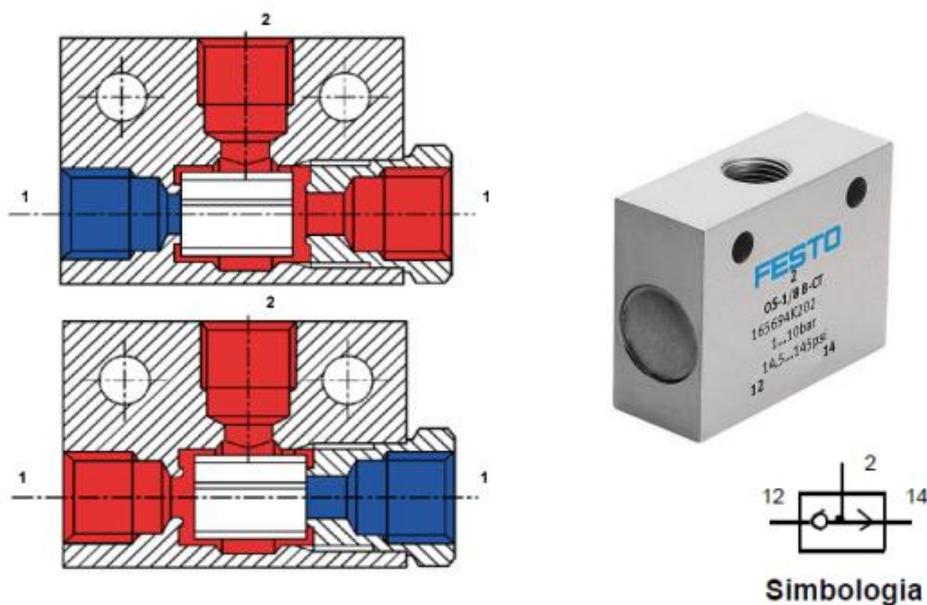


Fonte: Parker, 2007.

5.6.3 Válvulas auxiliares

A válvula alternadora (elemento OU) possui três orifícios no corpo: sendo dois deles entradas de pressão e o outro o ponto de utilização, quando enviado uma entrada para um lado, o outro automaticamente é vedado, dessa forma o fluido entra por uma das entradas de pressão e sai até o orifício de utilização, a figura 21 mostra representações gráficas da válvula alternadora.

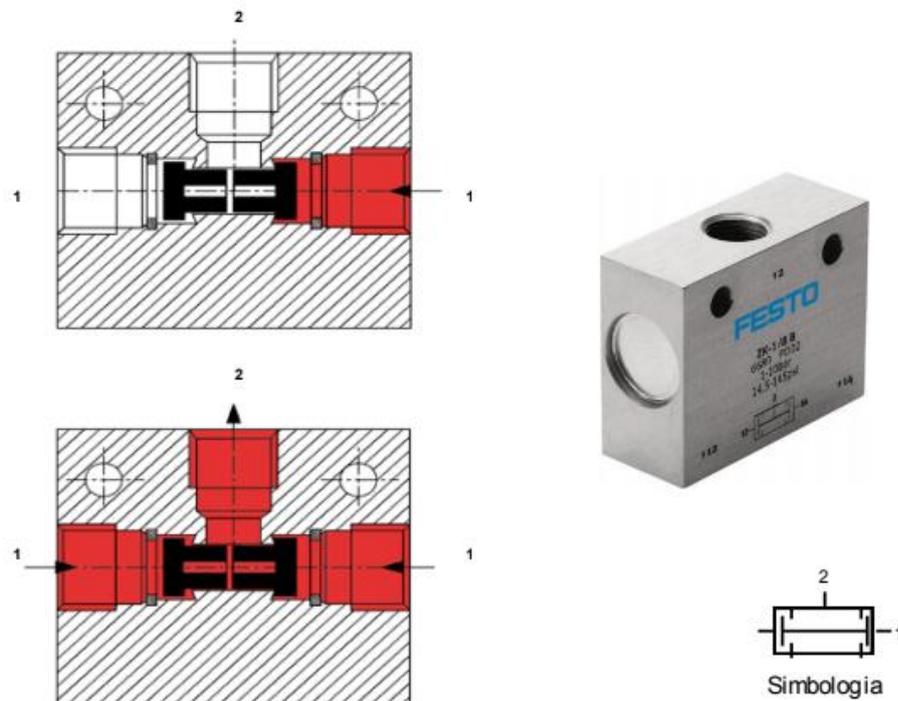
Figura 21 – Válvula alternadora.



Fonte: Parker, 2007.

A válvula de simultaneidade (elemento E) também possui três orifícios no corpo com as mesmas denominações, a diferença está em que nos dois pontos de pressão recebem fluido e no lado que possui a menor pressão, se autobloqueará, dando passagem para outro sinal.

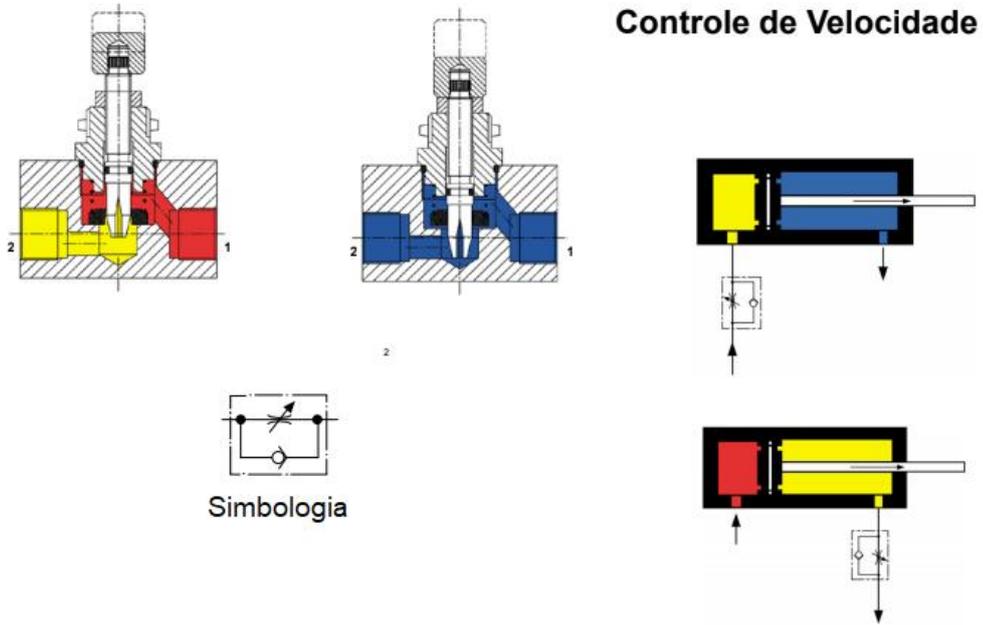
Figura 22 – Válvula de simultaneidade.



Fonte: Parker, 2007.

A válvula de controle de fluxo possui como objetivo limitar a quantidade de fluido que passa pela tubulação, servindo para limitar a velocidade de avanço e retorno de um cilindro, ela pode ser unidirecional, quando limita a velocidade de apenas um dos movimentos, ou bidirecional, controlando os dois movimentos do cilindro.

Figura 23 – Válvula de controle de fluxo.



Fonte: Parker, 2007.

6 Metodologia

Segundo Fonseca (2002), a metodologia compreende o estudo da forma em que o trabalho é organizado, dos instrumentos que são utilizados durante o trajeto percorrido até atingir a ideia proposta pela pesquisa, em outras palavras, significa o estudo dos caminhos necessários para a realização do trabalho. Entretanto, para Gerhardt (2009), a metodologia não se limita em apenas descrever os métodos e as técnicas que são utilizados na pesquisa, mas também indicar a escolha teórica que o autor aderiu para abordar o assunto do estudo.

Conforme Nascimento (2015), o tipo de pesquisa deste trabalho classifica-se perante quatro aspectos:

1. O objetivo da pesquisa sendo tanto exploratório, por gerar uma aproximação com o problema e construindo hipóteses por meio dos levantamentos bibliográficos realizados, quanto descritivo, por descrever os fatos e o fenômenos do tema de estudo;
2. A abordagem sendo qualitativa, uma vez que neste trabalho preocupa-se em aprofundar a compreensão do tema do estudo e a análise dos dados é feita de forma indutiva, sem a necessidade de se preocupar com a representatividade numérica;
3. Os procedimento como uma pesquisa bibliográfica, já que os dados deste trabalho são retirados de materiais já publicados, como livros e artigos disponíveis na internet, e também como estudo de caso, uma vez que esse trabalho pode ser relacionado a um estudo de uma entidade bem definida.
4. A natureza sendo de pesquisa aplicada, visto que os estudos são realizados em busca da solução de problemas específicos.

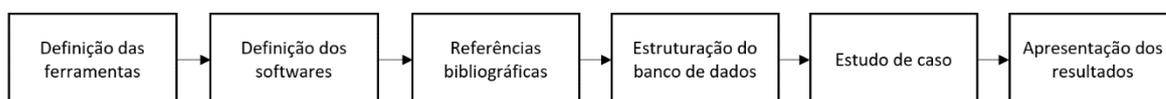
Em decorrência da pandemia do covid-19, este trabalho sofreu variações quanto aos procedimentos metodológicos, a primeira mudança foi a remoção da parte prática, dessa forma, o trabalho seguirá realizando a análise de falhas teoricamente, baseado em análise de diagramas representativos de circuitos hidráulicos. Devido a diminuição do calendário do semestre emergencial em 6 meses, foi desconsiderada a

análise de falhas através do ETA, e as pesquisas realizadas voltadas para componentes hidráulicos, pois os mesmos apresentam um índice maior de falha e os dados a respeito de irregularidades em sistemas pneumáticos são menos acessíveis.

6.1 Procedimentos metodológicos para o estudo de caso

Para poder explicar como o estudo de caso será realizado, os procedimentos metodológicos foram divididos em fases, de maneira a facilitar o entendimento do trabalho a ser executado:

Figura 24 – Procedimentos metodológicos.



Fonte: Autoria própria (2020).

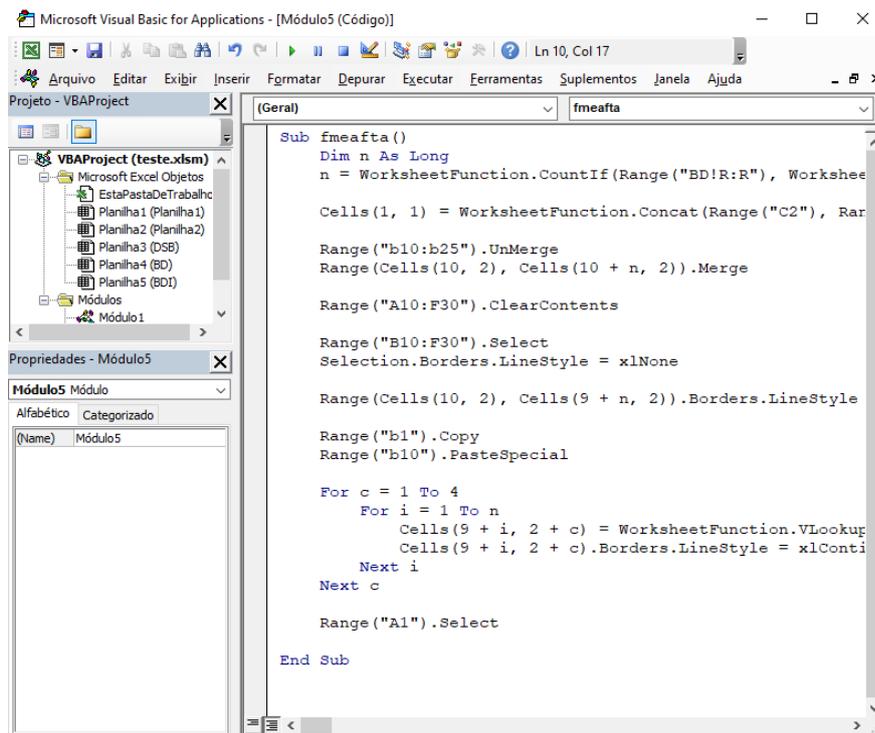
6.1.1 Definição das ferramentas

A escolha das ferramentas para a realização deste trabalho se deu em função da compatibilidade entre as metodologias FMEA e FTA, quando integradas, os dois métodos podem servir de complemento um para o outro.

6.1.2 Definição dos softwares

Para comportar todas as ferramentas, tanto o FMEA quanto o FTA, foi utilizado o aplicativo de planilhas eletrônicas, Excel, pois neste aplicativo é possível criar um banco de dados funcionando como suporte para as metodologias desse estudo, por conter fórmulas que tornassem a simulação das ferramentas de maneira automática, e por habilitar a criação de uma interface didática que incluísse todos elementos necessários das ferramentas, as Figuras 25 e 26 apresentam as interfaces do Excel, aplicadas para estruturas o FMEA e o FTA, a partir de um banco de dados.

Figura 27 – Macro utilizada para o FTA e o FMEA.

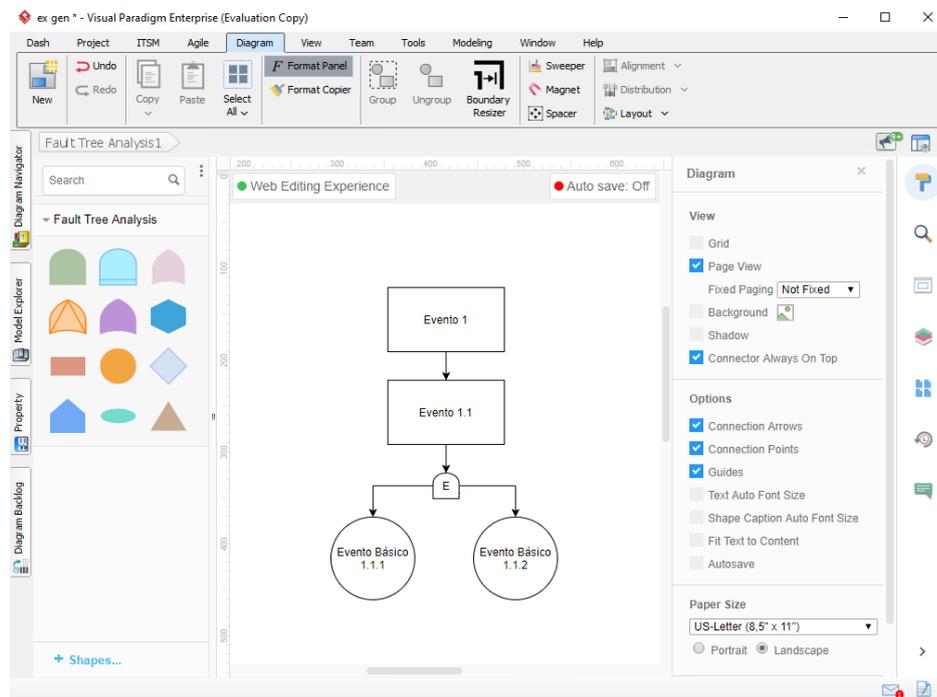


Fonte: Autoria própria (2020).

O código apresentado na Figura 27, é uma macro, que é um conjunto de ações que são realizadas automaticamente após uma falha ser escolhida na caixa de seleção, contém desde ações de formatação da interface até fórmulas como o cont.se e procv, para poder contar quantas linhas serão utilizadas e quais informações serão selecionadas para apresentação, respectivamente.

Para montar os diagramas do FTA, foi utilizado o Visual Paradigm, por conter as ferramentas necessárias possibilitando a criação da árvore de falhas de maneira simples e didática, a Figura 28 mostra uma representação da interface do software.

Figura 28 – Exemplo genérico criado a partir do visual paradigma.



Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme visto na figura anterior, o software disponibiliza um espaço para criação do diagrama, 12 opções de caixas para simular os eventos, causas, portões lógicos e ainda a opção de formatação de caixa.

6.1.3 Referências Bibliográficas

Quanto a busca por referências bibliográficas referentes aos dados necessários para suprir o banco de dados, é necessário ressaltar, primeiramente, a escassez de conteúdo que abordasse sobre falhas em sistemas hidráulicos e pneumáticos e, em função do encurtamento do tempo para a realização deste trabalho em virtude do covid-19, a busca de informações se limitou apenas as referências bibliográficas que vinculadas as falhas de componentes em sistemas hidráulicos. Dessa forma, a procura foi realizada por meio de livros, artigos e catálogos de componentes hidráulicos.

6.1.4 Estruturação do banco de dados

Quanto a estruturação do banco de dados, diversas tabelas foram geradas com o intuito de criar um atributo, representado por um código, para cada característica do componente hidráulico, assim viabilizaria que cada evento tivesse a rastreabilidade necessária para que as fórmulas do excel e do vba funcionassem com êxito. As tabelas a seguir ajudam no entendimento da forma em que os dados foram estruturados. A tabela 9 serve para codificar qual o sistema vinculado as falhas do componente estudado.

Tabela 9 – Codificando o sistema.

CS	Sistemas
1	Hidráulico
2	Pneumático

Fonte: Aatoria Própria(2020).

A tabela 10 serve para codificar o componente que será estudado.

Tabela 10 – Codificando o componente.

CC	Componente
1	Bomba
2	Atuador
3	Válvula de pressão
4	Válvula de retenção

Fonte: Aatoria Própria(2020).

A tabela 11 codifica o modo de falha de cada componente, é interessante colocar uma coluna com o código do componente, para auxiliar a lembrar qual o determinado componente vinculado com o evento específico.

Tabela 11 - Codificando os eventos.

CC	CF	Falha
1	1	Falha X
1	2	Falha Y

Fonte: Aatoria Própria(2020).

Neste exemplo, como código do componente é o número 1, e conforme a tabela 9, esse código refere-se a bomba hidráulica, dessa forma, apesar de não haver nenhuma fórmula até então, todos os eventos escritos na tabela W deverão ser relacionados a bomba hidráulica. A seguir, a tabela 12 codifica os modos de falhas e todas as informações que serão apresentadas no FTA e no FMEA pelo excel.

Tabela 12 - Codificando os modos de falhas.

CS	CC	CF	Concat1	NMF	CMF	Modo de Falha	Efeito	Causa	Ação R.
1	1	1	111	1	1111	Modo de Falha X	Efeito X	Causa X	Ação X
1	1	1	111	2	1112	Modo de Falha Y	Efeito Y	Causa Y	Ação Y
1	1	2	112	1	1121	Modo de Falha Z	Efeito Z	Causa Z	Ação Z

Fonte: Aatoria Própria(2020).

Vale ressaltar que na tabela 12, todas informações deverão ser preenchidas manualmente com excessão das colunas Concat1, NMF e CMF, a primeira delas utiliza a fórmula “concatenar”, para juntar os códigos do sistema, do componente e da falha, a coluna NMF utiliza a fórmula “cont.se” para numerar os modos de falhas correspondentes a determinada falha no sistema, por fim, a coluna CMF serve para concatenar todos os códigos utilizados na tabela (CS, CC, CF e NMF), tendo a rastreabilidade para que as fórmulas utilizadas para preencher o FMEA e o FTA possam reconhecer todos os modos de falhas, efeitos, causas e ações recomendadas.

A tabela 13 foi criada para poder vincular as falhas do sistema hidráulico ao determinado modo de falha.

Tabela 13 - Codificando as falhas no sistema.

CódFS	CMF	Falha no sistema
1	1111	Falha no sistema X
1	1112	Falha no sistema X
2	1111	Falha no sistema Y

Fonte: Aatoria Própria(2020).

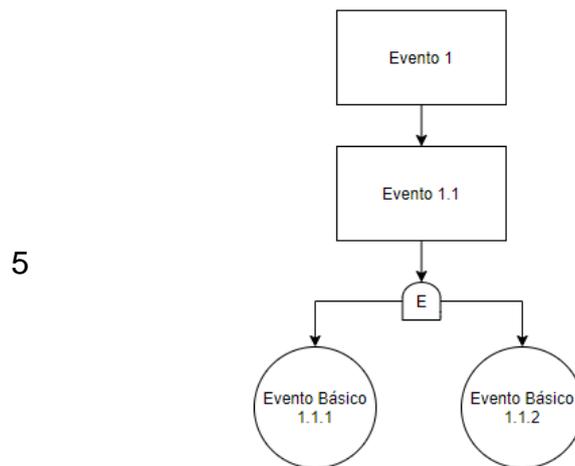
Vale ressaltar, que cada dígito do código CMF representa um atributo, por exemplo, o código 1111 representa um efeito X proveniente do modo de falha falha X

em uma bomba de um sistema hidráulico, assim conseguimos relacionar a falha de um acionamento hidráulico a cada atributo mencionado anteriormente.

A tabela 14 relaciona o código da falha no sistema com o diagrama FTA criado a partir do Visual Paradigm.

Tabela 14 - Relação CFS - FTA

CFS	Diagrama - FTA
-----	----------------



Fonte: Autoria Própria(2020).

6.1.5 Apresentação dos resultados

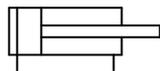
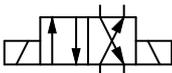
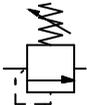
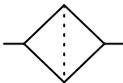
Por fim, a apresentação dos resultados acontecerá na interface criada no excel conforme as figuras 25 e 26 e os dados a serem apresentados pelo FMEA e FTA serão alimentados a partir do banco de dados criado e explicado supracitadamente.

7 Análise de Dados e Discussão dos Resultados

A seguir serão apresentados os resultados da pesquisa bibliográfica, a obtenção dos dados, conforme escrito na metodologia, aconteceu através na seção “Troubleshooting” dos catálogos de diversos componentes hidráulicos da Bosch - Rexroth, em um artigo (Medeiros, 2011) sobre análise de falhas em filtros e em um livro de treinamento hidráulico da Bosch - Rexroth. Os dados extraídos prestaram para alimentar o banco de dados, que por sua vez, gerava as informações no FMEA e FTA.

7.1 Escolha do sistema hidráulico, dos componentes e apresentação de suas falhas

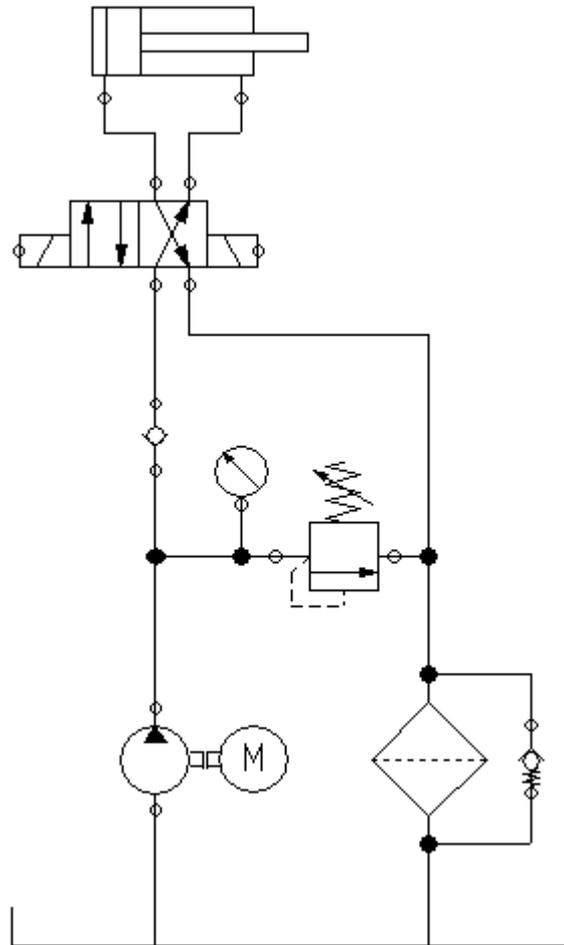
A escolha dos componentes hidráulicos a serem estudados foi decidida a partir da disponibilidade de informações a respeito de falhas sobre esses elementos, dessa forma, o estudo abordará sobre as falhas em bombas hidráulicas, filtros, válvulas reguladoras de pressão, válvulas direcionais, válvulas de retenção e em atuadores hidráulicos. A tabela 15 relaciona o nome dos componentes supracitados com a sua simbologia.

Componente	Simbologia
Atuador hidráulico	
Válvula direcional	
Válvula de retenção	
Válvula reguladora de pressão	
Filtro	
Bomba hidráulica	

Fonte: Autoria Própria(2020).

Como o trabalho também compreende estudar o efeito em sistemas hidráulicos gerados a partir das irregularidades dos componentes, foi criado um sistema que contempla todos os elementos citados na tabela anterior. A Figura 29 ilustra o sistema hidráulico modelado no software FluidSim.

Figura 29 – Sistema Hidráulico utilizado.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Como o componente responsável por apontar a irregularidade do sistema é o atuador, que é o elemento que converte energia hidráulica em energia mecânica, isso é, nos movimentos ordenados pelo conjunto hidráulico, as irregularidades no sistema foram definidos e são apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Eventos no sistema hidráulico

Número	Irregularidade
1	Atuador não avança ou recua.
2	Atuador não disponibiliza força.
3	Atuador sem velocidade.
4	Atuador com velocidade divergente do planejado.
5	Atuação instável.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

Dessa forma, na continuação desse capítulo serão apresentadas as falhas dos componentes hidráulicos através da aplicação do FMEA e os eventos de topo gerados por essas falhas nos sistemas hidráulicos por meio do FTA.

7.2 Análise das falhas nos componentes através do FMEA

Os resultados a serem apresentados a seguir corresponderão a apresentação de todas os modos de falhas vinculados aos respectivos componentes e a demonstração de um exemplo de um modo de falha relacionado a cada componente no FMEA, para ter acesso a todos os modos de falhas que compõem o banco de dados, verifique o apêndice A.

Conforme escrito anteriormente, no FMEA será apresentado um modo de falha específico de um componente e os seus efeitos, causas e ações recomendadas.

7.2.1 Análise de falha do Atuador Hidráulico utilizando o FMEA.

Através das pesquisas bibliográficas realizadas, foram encontrados os seguintes modos de falhas decorrentes do cilindro hidráulico:

Tabela 17 – Modo de falhas de um atuador.

Número	Modo de falha
1	Atuador exercendo movimentos com instabilidade
2	Danificação das tampas do atuador hidráulico.
3	Imprecisão na posição da haste durante o movimento.
4	Vazamento das linhas de conexão.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

A aplicação do FMEA no modo de falha número 1 – “Atuador exercendo movimentos com instabilidade” é ilustrado a seguir:

Figura 30 – Exemplo de modo de falha para o atuador.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA)			
Modo de Falha	Efeito	Causa	Ações Recomendadas
Atuador exercendo movimentos com instabilidade	Efeito Stick-Slip	Ar dentro do cilindro.	Faça um sangramento no cilindro hidráulico.
		As vedações estão gastas.	Realize a troca das vedações.
		Forças radiais presentes na haste do pistão e no cilindro.	Remodele a forma que o cilindro se encontra, eliminando as forças radiais.

Fonte: Autorial Própria (2020).

O modo de falha, ilustrado na Figura 30, produz stick-slip como efeito, pode ser corrigido através do processo de sangria no atuador hidráulico para caso haja ar confinado no interior do cilindro, troca das vedações caso as mesmas estejam desgastadas ou através do replanejamento da posição do cilindro, caso tenha forças radiais influenciando na haste do cilindro.

7.2.2 Análise de falha da válvula direcional utilizando o FMEA.

Através das pesquisas bibliográficas realizadas, foram encontrados os modos de falhas decorrentes da válvula direcional, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Modos de falhas de uma válvula direcional.

Número	Modo de falha
1	Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.
2	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.
3	Vazamento do fluido para o exterior da válvula.

Fonte: Autorial Própria (2020).

A aplicação do FMEA no modo de falha número 1 – “Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão” é ilustrado na Figura 31

Figura 31 – Exemplo de modo de falha para o válvula direcional.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA)			
Modo de Falha	Efeito	Causa	Ações Recomendadas
Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação	Conector com defeito.	Substituir o conector.
		Monitoramento da posição da comutação com defeito.	Substituir a válvula hidráulica.
	Válvula direcional não liga	Ausência de pressão no piloto.	Verifique e reaplique pressão nas portas.
		A bobina está presa em virtude de contaminação.	Tente liberar a bobina, em último caso, substitua a válvula
Válvula direcional não liga (em caso de controle elétrico)	Defeito elétrico na bobina do solenóide.	Substitua a bobina do solenóide.	

Fonte: Autoria Própria (2020).

O modo de falha, ilustrado na Figura 31, pode acontecer em função da ausência de sinais que monitoram a troca de posição da válvula direcional, neste caso, pode ser corrigido através da substituição do conector, caso o mesmo esteja danificado, ou da própria válvula direcional, caso a mesma esteja irregular. A falha pode acontecer também caso a válvula não ligue, é necessário reaplicar a pressão nas entradas caso haja ausência de pressão no piloto, ou através da limpeza da bobina suja, em caso de controle elétrico, um defeito da bobina também pode causar o mal funcionamento da válvula direcional, sendo necessário a substituição da bobina do solenóide.

7.2.3 Análise de falha da válvula de retenção utilizando o FMEA.

Através das pesquisas bibliográficas realizadas, foram encontrados os modos de falhas decorrentes da válvula de retenção, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Modos de falhas de uma válvula de retenção.

Número	Modo de falha
1	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.
2	Válvula de retenção não permite a passagem de fluido.
3	Vazamento do fluido para o exterior da válvula.

Fonte: Autoria Própria (2020).

A aplicação do FMEA no modo de falha número 1 – “Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente” é ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Exemplo de modo de falha para o válvula de retenção.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA)			
Modo de Falha	Efeito	Causa	Ações Recomendadas
Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação	Conexão elétrica interrompida	Verifique se todos conectores elétricos de encaixe estão corretamente montados
		Quebra de cabo	Substituir o cabo de conexão
		Conector com defeito danificado	Substituir o conector
		Monitoramento da posição da comutação com defeito	Substituir a válvula hidráulica
	Válvula não liga (em caso de controle elétrico)	Conexão elétrica interrompida	Verifique se todos conectores elétricos de encaixe estão corretamente montados
		Quebra de cabo	Substituir o cabo de conexão
		Solenóide elétrica com defeito	Trocar o solenóide, entrar em contato com a assistência hidráulica
		Conector com defeito	Substituir o conector

Fonte: Autoria Própria (2020).

Para a válvula de retenção, a ausência de sinal de posição na válvula pode ser causado por defeito no cabo, no conector ou na própria válvula de retenção, sendo necessário a troca do componente defeituoso em todos os casos. Caso o efeito desse modo de falha seja o não funcionamento da válvula de retenção, a falha pode estar vinculada a algum defeito no solenóide, no conector ou no cabo do componente, sendo necessário a troca do componente que estiver com defeito. Para os dois efeitos, a causa dessa falha pode ser a interrupção de conexão elétrica, sendo preciso verificar todas as conexões estão corretas

7.2.4 Análise de falha da válvula reguladora de pressão utilizando o FMEA.

Através das pesquisas bibliográficas realizadas, foram encontrados os modos de falhas decorrentes da válvula reguladora de pressão, apresentados na Tablea 20.

Tabela 20 - Modos de falhas de uma válvula reguladora de pressão

Número	Modo de falha
1	Danificação dos elementos internos da válvula reguladora de pressão.
2	Presença de contaminação no interior da válvula reguladora de pressão.
3	Válvula reguladora de pressão está vazando fluido.
4	Válvula reguladora de pressão não está funcionando corretamente.

Fonte: Autoria Própria (2020).

A aplicação do FMEA no modo de falha número 1 – “Danificação dos elementos internos da válvula reguladora de pressão” é ilustrado na Figura 33.

Figura 33 – Exemplo de modo de falha para o válvula reguladora de pressão.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA)			
Modo de Falha	Efeito	Causa	Ações Recomendadas
Danificação dos elementos internos da válvula reguladora de pressão.	A pressão na válvula está acima do permitido.	A vedação axial da válvula está gasta.	Insira uma nova vedação de maneira adequada.
	A vedação ou o carcaça da válvula está danificado/ausente.	A vedação ou a carcaça foi destruída/danificada por ação humana ou influência mecânica.	No caso de danificação da carcaça da válvula, substitua a válvula reguladora de pressão.
	O controle de válvula é destruído.	Tratamento impróprio.	Envie a válvula para uma empresa autorizada para reparo.
	O valor de pressão indicado na válvula não é alcançado quando comparado ao da bancada.	Ausência de alguma vedação ou uso de uma vedação incorreta.	Coloque a vedação correta.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Neste caso, o modo de falha pode causar uma irregularidade na pressão permitida da válvula reguladora de pressão caso haja o desgaste ou a ausência das vedações no interior do componente. Pode também ocasionar a destruição do controle da válvula, oriundo de um tratamento impróprio, para esse acontecimento, o ideal é enviar a válvula para uma empresa que realize o reparo de componentes dessa campo.

7.2.5 Análise de falha do filtro utilizando o FMEA.

Através das pesquisas bibliográficas realizadas, foram encontrados os modos de falhas decorrentes do filtro, apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Modos de falhas de um filtro.

Número	Modo de falha
1	Elemento filtrante inadequado para o sistema (quanto ao grau porosidade)
2	Canais de sucção entupidos.
3	Danificação do filtro.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

A aplicação do FMEA no modo de falha número 3 – “Danificação do filtro” é ilustrado na Figura 34.

Figura 34 – Exemplo de modo de falha para o filtro.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA)			
Modo de Falha	Efeito	Causa	Ações Recomendadas
Danificação do filtro.	Emperramento ou entupimento das partes móveis de componentes.	Vazão elevada para o filtro selecionado.	Troque para um filtro que suporte a vazão necessária nas especificações.
		Pressão alta em função do acúmulo de contaminação.	Limpe as contaminações dentro do filtro.
	Contaminação mais constante que as tarefas de limpeza.	Desintegração do papel do elemento filtrante.	Troque o papel do filtro.
		Danificação dos elementos do filtro através do desgaste.	Troque o filtro.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

O modo de falha ilustrado na Figura 34 pode produzir o emperramento ou o entupimento dos componentes móveis ligados ao filtro, e caso aconteça, é necessário realizar a limpeza das impurezas no interior do filtro, que podem causar um aumento na pressão, ou até mesmo trocar o filtro se este componente não possuir a vazão adequada para suportar a demanda do sistema planejado. Também pode ocorrer aumento da necessidade de limpeza do filtro, caso haja a desintegração do papel do filtro ou a danificação dos elementos internos do filtro, sendo necessário a troca do papel do filtro ou propriamente o filtro, respectivamente.

7.2.6 Análise de falha da bomba hidráulica utilizando o FMEA.

Através das pesquisas bibliográficas realizadas, foram encontrados os modos de falhas decorrentes da bomba hidráulica, apresentados na Tabela 22:

Tabela 22 – Modo de falhas de uma bomba hidráulica.

Número	Evento de topo
1	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.
2	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.
3	Bomba hidráulica está vazando fluido.
4	Bomba hidráulica foi montada incorretamente.
5	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.
6	Danificação dos elementos internos da bomba hidráulica.
7	Fluido com alto índice de viscosidade.
8	Instabilidade na criação de energia hidráulica para o sistema.
9	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.
10	Presença de contaminações no interior da bomba hidráulica.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

A aplicação do FMEA no modo de falha número 1 – “Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica” é ilustrado na Figura 35.

Figura 35 – Exemplo de modo de falha para a Bomba Hidráulica.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA)			
Modo de Falha	Efeito	Causa	Ações Recomendadas
Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica	Flutuações de pressão.	Condições insuficientes de sucção.	Preencha a linha de sucção com fluido hidráulico.
	Flutuações de vazão.		
	Pressão insuficiente ou inexistente.		
	Vazão insuficiente ou inexistente.		
	Ruídos incomuns.		

Fonte: Aatoria Própria (2020).

O modo de falha, ilustrado na Figura 35 produz, diversos efeitos, como a flutuação da vazão e pressão ou até a ausência dessas duas variáveis, também pode ocasionar ruídos não usuais no componente, para corrigir essa falha, basta preencher a linha de sucção com fluido hidráulico.

7.3 Análise dos eventos de topo dos sistemas hidráulicos pelo FTA

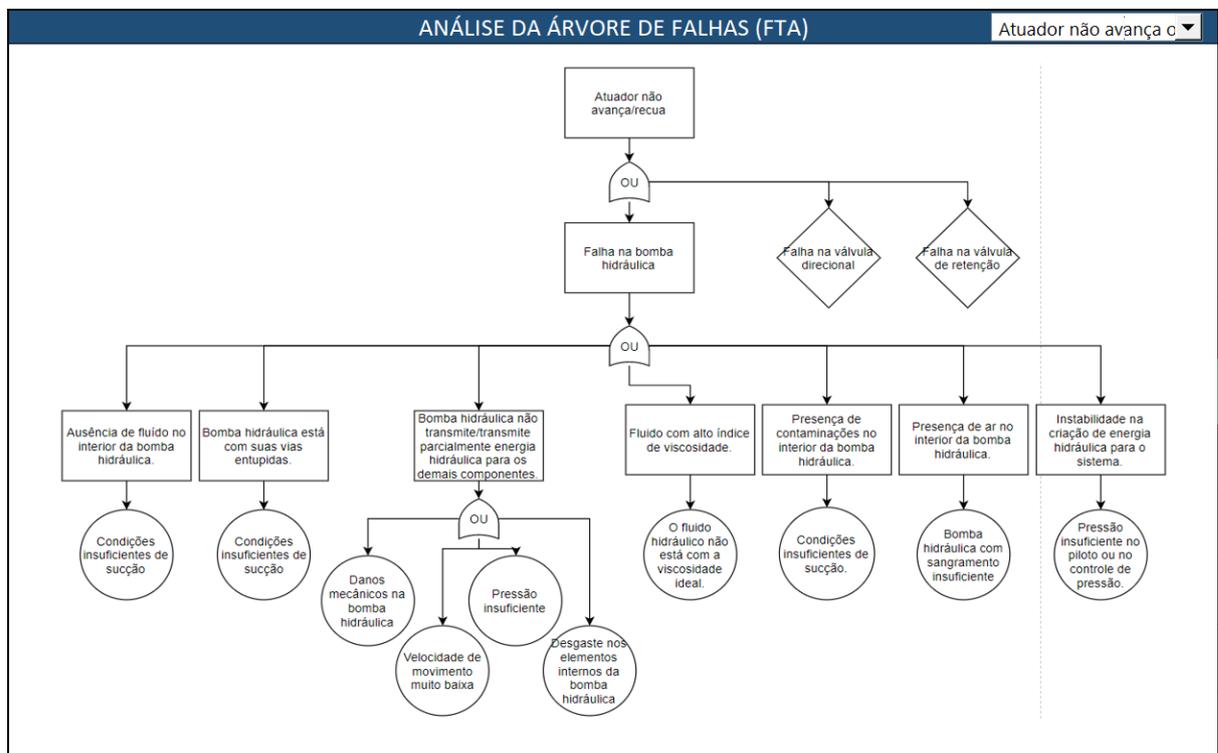
Com o auxílio dos resultados obtidos através da aplicação do banco de dados no FMEA, se tornou viável relacionar a falha individual de um componente com os eventos citados na tabela 12, vale ressaltar que a integração de cada causa e modo de falha com o evento no sistema ocorreu por meio do preenchimento da tabela 13, do banco de dados.

Dessa forma, os resultados a seguir serão apresentados por meio da ferramenta de análise de árvore de falhas, tanto de forma horizontal (através do diagrama) quanto vertical (por meio da tabela de apoio):

7.3.1 Análise de falhas do evento 1 utilizando o FTA

As ilustrações apresentadas nas Figura 36, 37, 38 e 39 demonstram os eventos e as causas ligados ao evento topo 1 – “Atuador não avança ou recua” através da análise da árvore de falhas.

Figura 36 – FTA horizontal do evento 1 – parte 1.



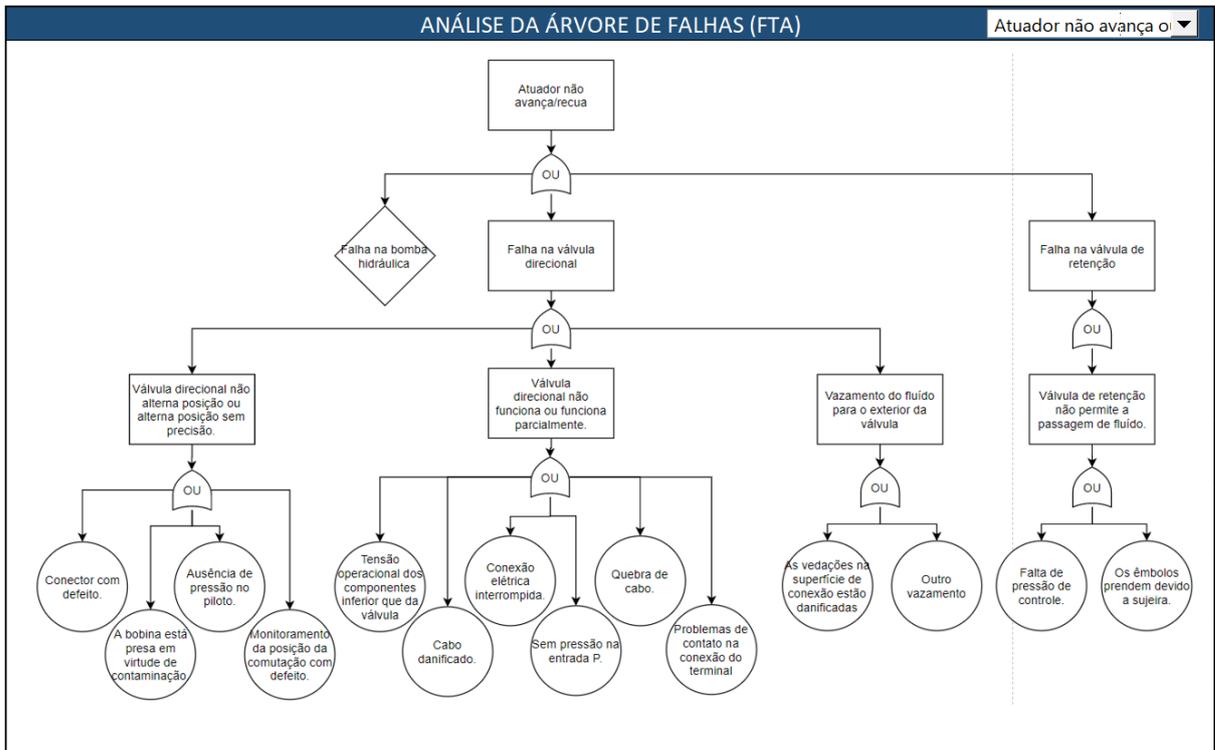
Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 37 – FTA vertical do evento 1 – Parte 1

Falha - Componente	Falha	Causa
Bomba Hidráulica.	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Condições insuficientes de sucção.
	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	
	Presença de contaminações no interior da bomba hidráulica.	
	Fluido com alto índice de viscosidade.	O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.
	Bomba hidráulica não transmite ou transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Desgaste na bomba hidráulica.
		Pressão insuficiente.
		Velocidade de movimento muito lenta.
	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Bomba hidráulica com sangramento insuficiente.
Instabilidade na criação de energia hidráulica para o sistema.	Pressão insuficiente no piloto ou no controle de pressão.	

Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 38 – FTA horizontal do evento 1 – parte 2.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 39 – FTA vertical do evento 1 – Parte 2.

Falha - Componente	Falha	Causa
Válvula de retenção	Válvula de retenção não permite a passagem de fluido.	Falta de pressão de controle.
		Os êmbolos prendem devido a sujeira.
Válvula direcional	Vazamento do fluido para o exterior da válvula	As vedações na superfície de conexão estão danificadas
		Outro vazamento
	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente	Quebra de cabo.
		Problemas de contato na conexão do terminal
		Sem pressão na entrada P
		Cabo danificado
	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Tensão operacional dos componentes inferior que da válvula
Bomba hidráulica está com suas vias entupidadas.	Condições insuficientes de sucção.	

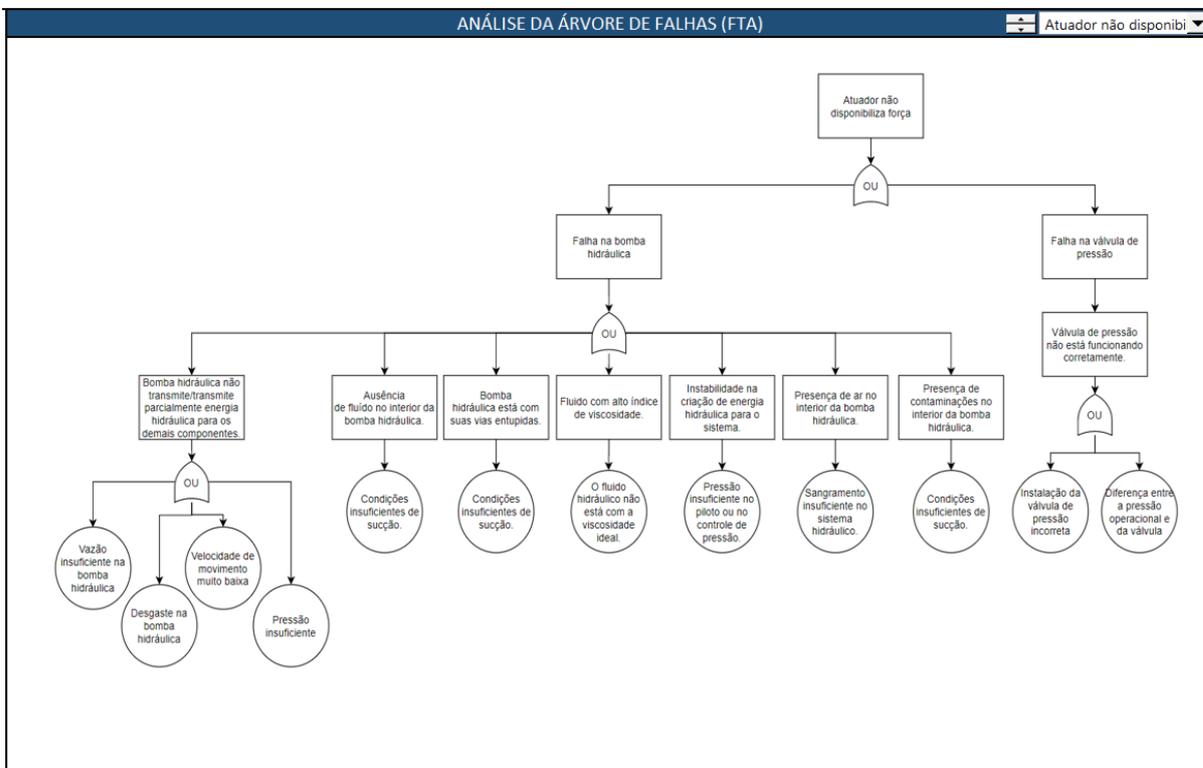
Fonte: Autoria Própria (2020).

O evento de topo do diagrama ilustrado na figura anterior pode ser ocasionado pela ocorrência de falhas nos seguintes componentes: bomba hidráulica, válvula direcional ou válvula de retenção. Para o primeiro, a causa pode estar relacionada a ausência de fluido ou a presença de ar, contaminações ou de fluido viscoso no interior da bomba hidráulica, pode ser causada por entupimento das vias ou em virtude do mal ou funcionamento da bomba hidráulica. Para o segundo caso, a falha pode estar vinculada ao vazamento do fluido para o exterior da válvula ou em função da válvula não funcionar ou funcionar parcialmente. Por fim, o fato da válvula de retenção não permitir a passagem de fluido também culmina no bloqueio do avanço ou retorno do cilindro.

7.3.2 Análise de falhas do evento 2 utilizando o FTA

As ilustrações apresentadas nas Figuras 40 e 41 demonstram os eventos e as causas ligados ao evento topo 2 – “Atuador não disponibiliza força” através da análise da árvore de falhas.

Figura 40 – FTA horizontal do evento 2.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 41 – FTA vertical do evento 2.

Falha - Componente	Falha	Causa
Válvula de pressão	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	A diferença entre a pressão operacional e da válvula é pequena. Instalação da válvula de pressão incorreta, com limite de pressão
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Condições insuficientes de sucção.
	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Desgaste na bomba hidráulica.
		Pressão insuficiente.
		Velocidade de movimento muito lenta.
	Vazão insuficiente na bomba hidráulica	
	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Condições insuficientes de sucção.
	Fluido com alto índice de viscosidade.	O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.
	Instabilidade na criação de energia hidráulica para o sistema.	Pressão insuficiente no piloto ou no controle de pressão.
Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Sangramento insuficiente no sistema hidráulico.	

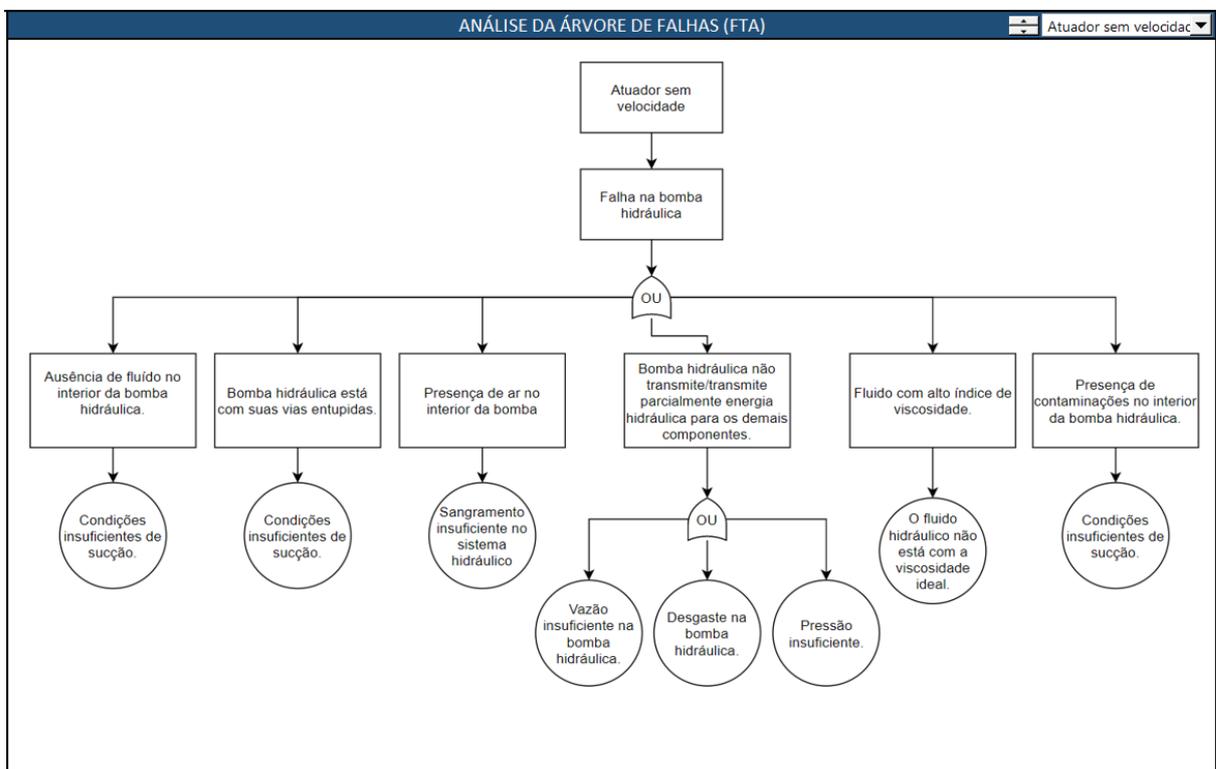
Fonte: Aatoria Própria (2020).

O evento de topo 2 – “Atuador não disponibiliza força” pode ser originado a partir da falha individual da bomba hidráulica ou da válvula de pressão. No caso da bomba, a presença de um fluido viscoso, contaminações ou de ar dentro da bomba podem causar o evento-topo, bem como a ausência de fluido, além disso, caso a bomba não esteja operando ou esteja funcionando de forma parcial, o atuador não disponibilizará força uma vez que não recebe a energia hidráulica proveniente da bomba. Já no caso da válvula de pressão, caso a mesma não esteja funcionando de maneira efetiva, a pressão recebida no atuador pode não coincidir com o esperado.

7.3.3 Análise de falhas do evento 3 utilizando o FTA

A ilustração apresentadas nas Figuras 42 e 43 demonstram os eventos e as causas ligados ao evento de topo 3 – “Atuador sem velocidade” através da análise da árvore de falhas.

Figura 42 – FTA horizontal do evento 3.



Fonte: Aatoria Própria (2020).

Figura 43 – FTA vertical do evento 3.

Falha - Componente	Falha	Causa
Bomba Hidráulica	Presença de contaminações no interior da bomba hidráulica.	Condições insuficientes de sucção
	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Condições insuficientes de sucção.
	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Vazão insuficiente na bomba hidráulica
		Desgaste na bomba hidráulica.
		Pressão insuficiente.
	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Condições insuficientes de sucção.
	Fluido com alto índice de viscosidade.	O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.
Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Sangramento insuficiente no sistema hidráulico.	

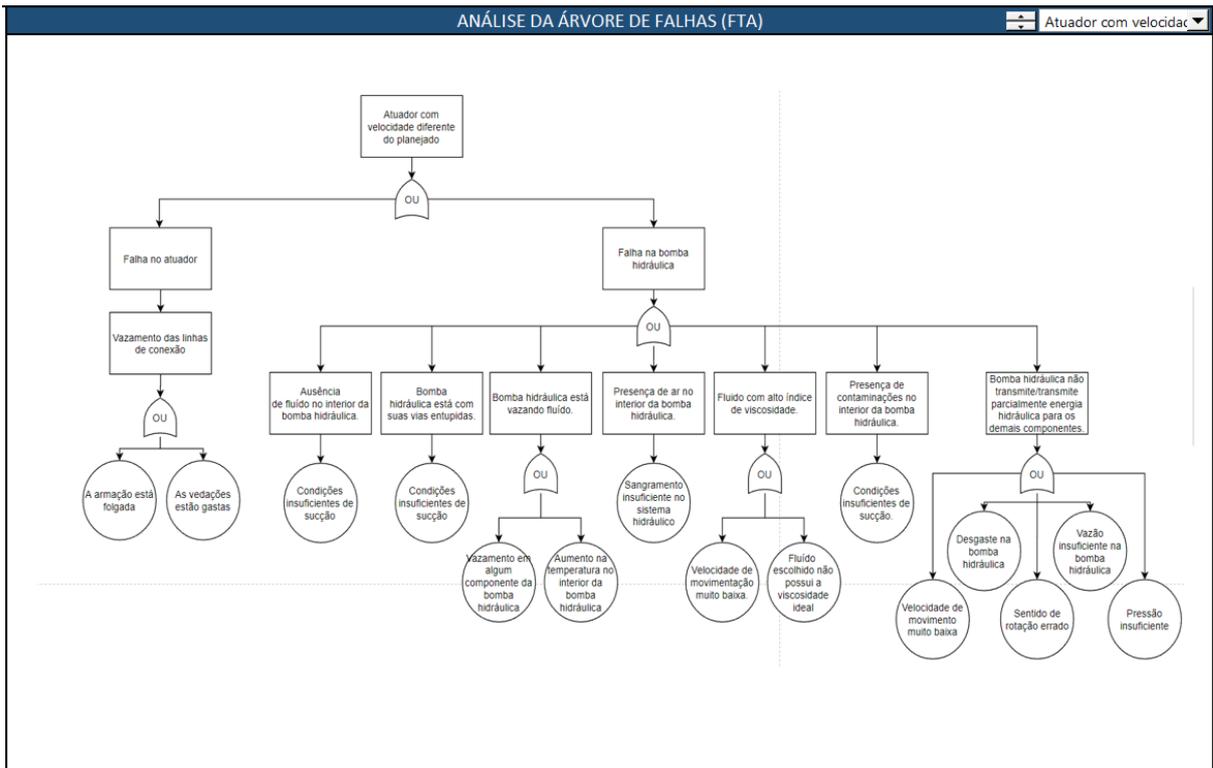
Fonte: Autoria Própria (2020).

Caso o atuador permaneça imóvel, conforme o diagrama, a falha estará relacionada a bomba hidráulica, a ausência de fluido ou a presença de contaminações, ar ou até mesmo um fluido não ideal para o sistema podem fazer com que as linhas de conexões tenham problema em succionar o fluido até o atuador, vazão ou pressão insuficiente na bomba, ou até mesmo o desgaste da mesma podem ocasionar incapacidade de transmissão de energia hidráulica para os demais componentes.

7.3.4 Análise de falhas do evento 4 utilizando o FTA

A ilustração apresentadas nas Figuras 44 e 45 demonstram os eventos e as causas ligados ao evento topo 4 – “Atuador com velocidade divergente do planejado.” através da análise da árvore de falhas.

Figura 44 – FTA horizontal do evento 4.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 45 – FTA vertical do evento 4.

Falha - Componente	Falha	Causa
Atuador.	Vazamento das linhas de conexão.	A armação está folgada.
		As vedações estão gastas.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Desgaste na bomba hidráulica.
		Pressão insuficiente.
		Velocidade de movimento muito lenta.
		Vazão insuficiente na bomba hidráulica.
		Sentido de rotação errado.
	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Condições insuficientes de sucção.
	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Sangramento insuficiente no sistema hidráulico.
Fluido com alto índice de viscosidade.		O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.
		Velocidade de movimentação muito baixa.

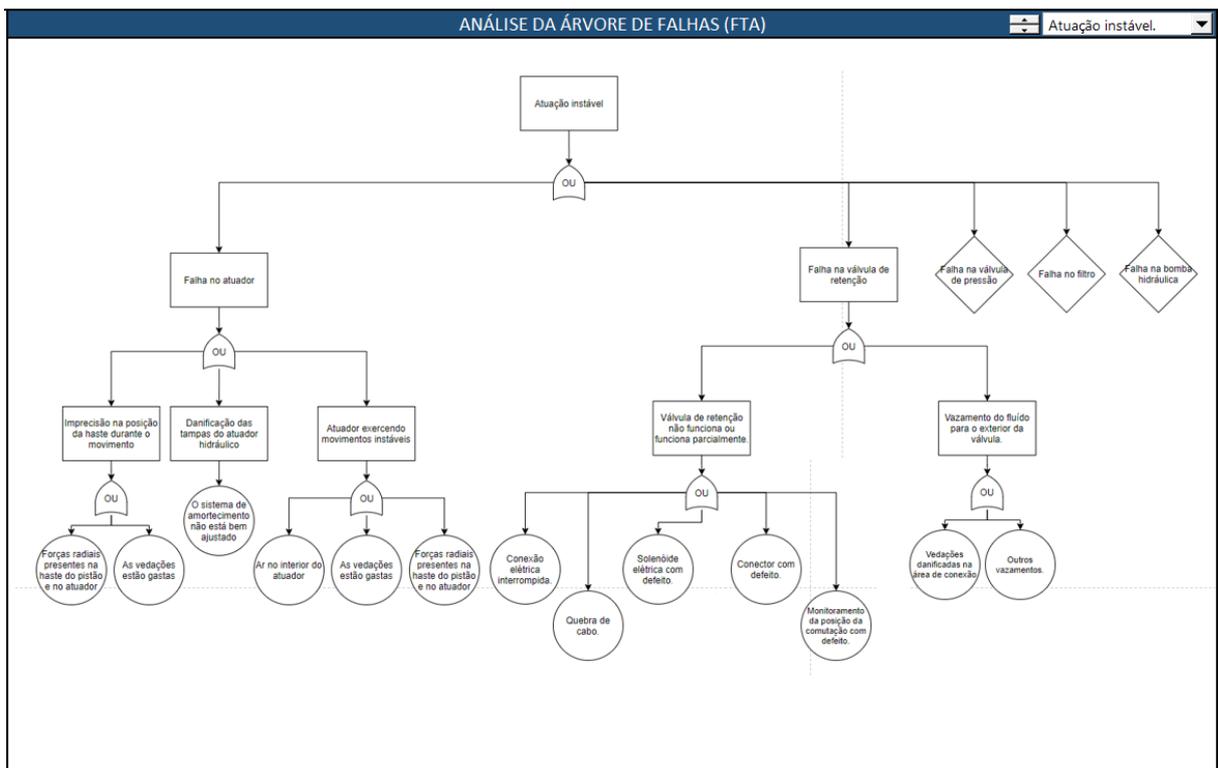
Fonte: Autoria Própria (2020).

A diferença da velocidade de movimento por parte do atuador entre a realidade e o planejado pode ser originada a partir da falha do próprio atuador ou da bomba hidráulica. A armação incorreta ou o desgaste das vedações no interior do atuador podem causar o vazamento de fluido do mesmo, gerando a divergência da velocidade obtida na prática. Já para a bomba hidráulica, a presença de ar, contaminações ou um fluido não ideal incluso no componente poderá causar a dificuldade em succionar o fluido, a ausência de fluido na bomba também pode ser um fator, uma vez que a energia hidráulica não será criada e repassada ao atuador, por fim, caso a bomba hidráulica não consiga operar em função do desgaste, da ausência da vazão ou pressão ou de uma configuração inadequada por parte do próprio componente, a velocidade obtida no cilindro divergirá do que é esperado.

7.3.5 Análise de falhas do evento 5 utilizando o FTA

As ilustrações apresentadas nas Figuras 46, 47, 48, 49, 50 e 51 demonstram os eventos e as causas ligados ao evento topo 5 - “Atuação instável” através da análise da árvore de falhas:

Figura 46 – FTA horizontal do evento 5 – parte 1.



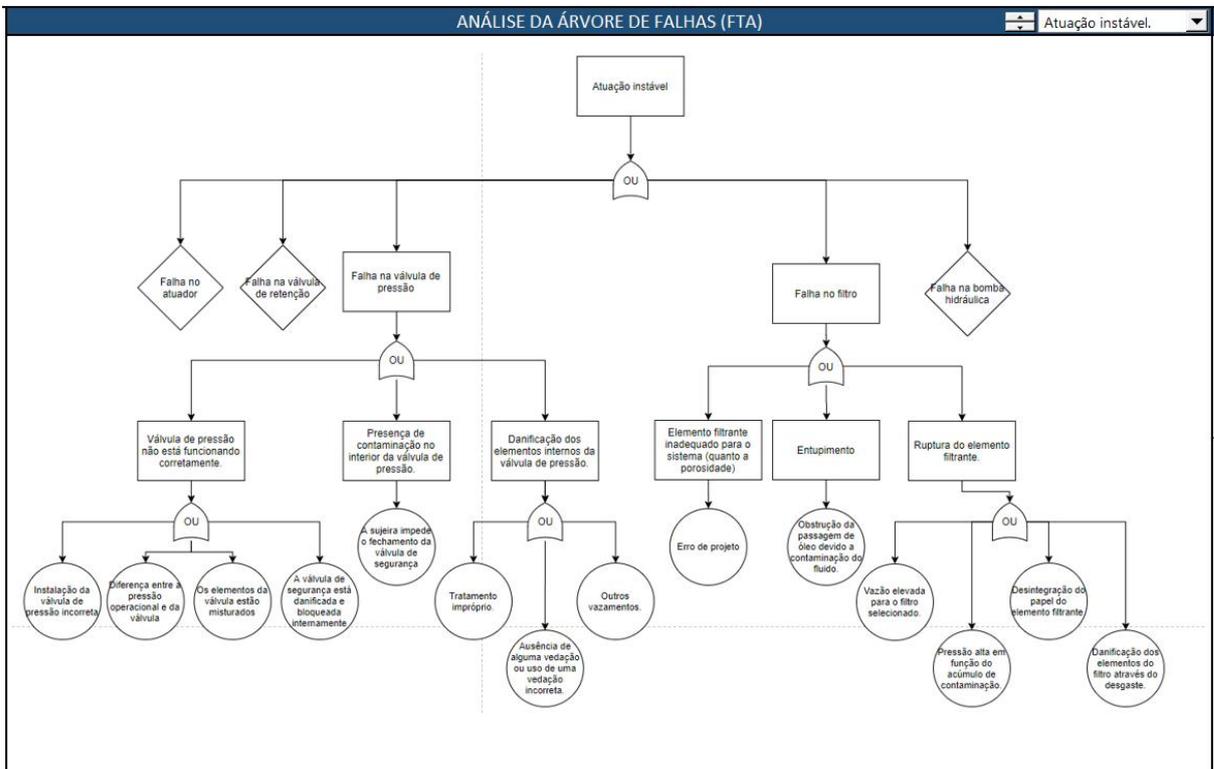
Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 47 – FTA vertical do evento 5 – Parte 1.

Falha - Componente	Falha	Causa
Atuador	Atuador exercendo movimentos com instabilidade	Ar dentro do cilindro.
		As vedações estão gastas.
		Forças radiais presentes na haste do pistão e no cilindro.
	Danificação das tampas do atuador hidráulico.	O sistema de amortecimento não está bem configurado.
Imprecisão na posição da haste durante o movimento.	As vedações estão gastas.	Forças radiais presentes na haste do pistão e no cilindro.
		Outros vazamentos.
Válvula de retenção	Vazamento do fluido para o exterior da válvula.	Vedações danificadas na área de conexão
		Conector com defeito
	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Solenóide elétrica com defeito
		Conexão elétrica interrompida

Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 48 – FTA horizontal do evento 5 – parte 2.



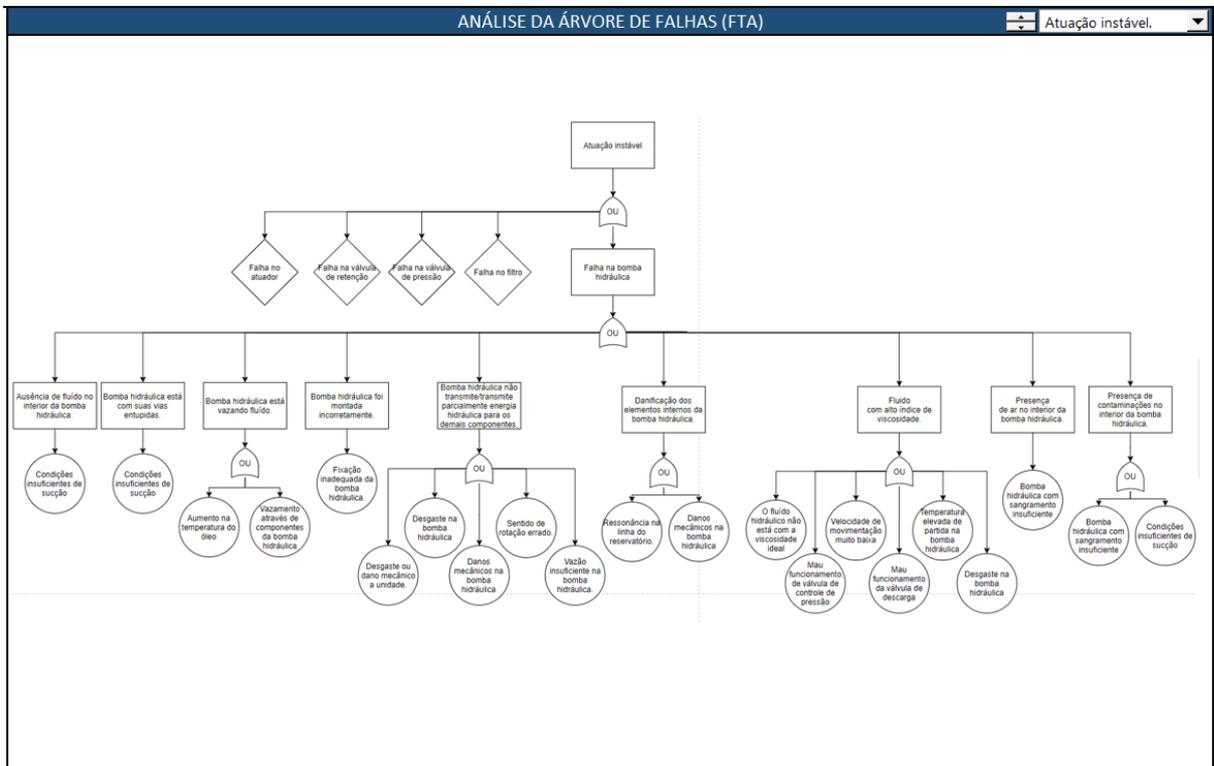
Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 49 – FTA vertical do evento 5 – Parte 2.

Falha - Componente	Falha	Causa
Filtro	Elemento filtrante inadequado para o sistema (quanto a	Erro de projeto.
	Entupimento	Obstrução da passagem de óleo devido a contaminação do fluido.
	Ruptura do elemento filtrante.	Pressão alta em função do acúmulo de contaminação.
		Danificação dos elementos do filtro através do desgaste.
Válvula de pressão	Danificação dos elementos internos da válvula de pressão.	A vedação axial da válvula está gasta.
		Ausência de alguma vedação ou uso de uma vedação incorreta.
		Tratamento impróprio.
	Presença de contaminação no interior da válvula de pressão.	A sujeira impede o fechamento da válvula de segurança.
	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	Diferença entre a pressão operacional e da válvula é pequena.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 50 – FTA horizontal do evento 5 – parte 3.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 51 – FTA vertical do evento 5 – Parte 3

Falha - Componente	Falha	Causa
Bomba Hidráulica	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Condições insuficientes de sucção.
	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Condições insuficientes de sucção.
	Bomba hidráulica está vazando fluido.	Aumento na temperatura do óleo.
		Vazamento através de componentes da bomba hidráulica
	Bomba hidráulica foi montada incorretamente.	Fixação inadequada da bomba hidráulica.
	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Desgaste na bomba hidráulica.
		Desgaste ou dano mecânico a unidade
		Danos mecânicos na bomba hidráulica
Vazão insuficiente na bomba hidráulica		
	Sentido de rotação errado	
Danificação dos elementos internos da bomba hidráulica	Ressonância na linha do reservatório	

Fonte: Autoria Própria (2020).

A atuação instável por parte do cilindro pode ser originada devido a falha individual da bomba hidráulica, da válvula de retenção, da válvula de pressão, do filtro ou do próprio atuador. Quanto a bomba hidráulica, o entupimento das vias, bem como a presença de ar, contaminações ou um fluido viscoso podem dificultar o recebimento da energia hidráulica no atuador, a montagem incorreta, o desgaste dos elementos internos da bomba ou insuficiência de transmissão de pressão e vazão por parte do componente podem resultar na instabilidade de atuação do cilindro. Para a válvula de pressão, a presença de contaminações no interior do componente, a danificação dos elementos internos ou o mal funcionamento da válvula podem gerar a atuação instável. A escolha inadequada, o entupimento ou a ruptura do filtro também podem culminar no evento topo. A falha na válvula de retenção, devido a um vazamento ou a alguma irregularidade no seu funcionamento podem ocasionar a instabilidade do desempenho do atuador. Por fim, uma falha no próprio atuador pode gerar o efeito da instabilidade da sua performance, em função do sistema de amortecimento não estar bem regulado, do desgaste das vedações do componente, a presença de ar no seu interior ou a influência de forças radiais na haste do atuador.

8 Considerações Finais

É incontestável a necessidade do processo de análise de falhas não apenas em componentes ou sistemas hidráulicos e pneumáticos, mas em quaisquer produtos, processos e projetos, afinal, a análise de falhas é aplicável a infinitas áreas e previne que algum evento aconteça fora do planejado, atenuando ao máximo as irregularidades do objeto de estudo.

Apesar da relação FMEA x FTA já ter sido abordada no referencial bibliográfico, é importante ressaltar sobre a validação da integração dessas duas ferramentas. Conforme escrito em 5.3.4 – Relação FTA x FMEA, enquanto a análise de árvore de falhas é uma ferramenta visual e muitas vezes mais didática, na análise de modos de falhas e efeitos é possível obter um grau de informações mais profundo, que não é mencionado no diagrama do FTA. Como exemplo, é possível identificar nos diagramas criados nesse trabalho, os eventos e as causas que ocasionam o evento-topo, entretanto, é necessário consultar o FMEA para ter acesso as informações dos efeitos e das ações preventivas para cada causa, ratificando a importância da compatibilidade dessas duas metodologias.

Através dos resultados expostos no capítulo anterior, é possível aferir que as falhas de um sistema hidráulico podem ser provenientes de quaisquer componentes irregulares que estão conectados no conjunto, essas não conformidades dos componentes possuem inúmeras origens, seja algum elemento interno defeituoso, uma impureza no interior do objeto, a escolha de um fluido não compatível com os itens e o sistema, um componente ter sido mal configurado, entre outras inúmeras razões.

Em virtude do covid-19, é importante ressaltar que o trabalho não cumpriu todos os objetivos traçados quando foi iniciado, e que em função do vírus, o trabalho foi limitado em uma análise e implementação baseado em uma simulação de sistema hidráulico.

Para estudos futuros, em vista a pequena disponibilidade de informações a respeito de falhas em componentes e sistemas hidráulicos e pneumático, seria extremamente importante um aprofundamento teórico e prático tanto das falhas mencionadas neste trabalho quanto das irregularidades que não foram citadas. Vale considerar, que existem outras dezenas de componentes que não foram discutidos nessa pesquisa e que poderiam ter sido utilizados caso houvesse uma maior oferta

de informações sobre não conformidades em componentes e sistemas hidráulicos e pneumáticos. Por fim, para a melhoria do FMEA, seria interessante poder mensurar as variáveis de ocorrência, severidade e detecção, que foram abordadas no referencial bibliográfico, mas que não tiveram continuidade pela indisponibilidade de históricos contendo exemplos sobre falhas na área de hidráulica e pneumática.

Referências

AGOSTINI, Nestor. **Sistemas Hidráulicos Industriais**. p. 60. Rio do Sul: Sibratec, 2009.

AIAG. **Manual de referência FMEA 4ª edição**. AIAG - Automotive Industry Action Group - AIAG Reference guide - Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) 4 ed. AIAG, 2008.

BOSCH REXROTH. **General instruction manual for axial piston units**. Gerlingen: Rexroth, 2012. p. 43.

BOSCH REXROTH. **General instruction manual for external gears units**. Rexroth, 2017. p. 56.

BOSCH REXROTH. **High-response/proportional valves with Multi-Ethernet interface**. Gerlingen: Rexroth, 2020. p. 44.

BOSCH REXROTH. **Hydraulic cylinders: tie rod design / mill type and mill type for potentially explosive areas**. Gerlingen: Rexroth, 2019. p. 46.

BOSCH REXROTH. **Hydraulic valves and hydroelectric pressure switches for industrial applications: On/off valves, proportional servo valves, pressure switches**. Gerlingen: Rexroth, 2019. p. 29.

BOSCH REXROTH. **Internal gear pump**. Gerlingen: Rexroth, 2009. p. 30.

BOSCH REXROTH. **Proportional directional valve, direct operated, without electrical position feedback: Area of application in accordance with the explosion protection directive**. Gerlingen: Rexroth, 2019. p. 43.

BOSCH REXROTH. **Proportional pressure relief valve direct-operated: Area of application in accordance with the explosion protection directive**. Gerlingen: Rexroth, 2019. p. 41.

BOSCH REXROTH. **Treinamento Hidráulico**. Curso de Hidráulica Básica Bosch Rexroth. p73-170.

BRAIDOTTI JUNIOR, José Wagner. **A falha não é uma opção**. p. 192. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2013.

DE NEGRI, V. J. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Controle e Automação: Parte I – Princípios Gerais da Hidráulica e Pneumática**. p. 23 Florianópolis, 2001.

DESCARTES, R. **Discurso do Método**. 2003. Disponível em < <http://ateus.net/artigos/filosofia/discurso-do-metodo/> >. Acesso em: 24 nov. 2019.

DIAS, Ac. ; CALIL, L. F. P. ; RIGONI, Emerson ; OGLIARI, André ; SAKURADA, E. Y. ; Kagueiama, H.A. . **Metodologia para análise de risco: mitigação de perda de SF6 em disjuntores**. 1. ed. v. 1. p. 304. Florianópolis: Studio S, 2011.

ERICSON II, C. A. **Hazard analysis techniques for system safety**. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2005.

FAGUNDES, L. D. **Mapeamento de Falhas em Concessionária do Setor Elétrico: Gestão do Conhecimento Auxiliando a Gestão da Manutenção**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Gestão., Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2005.

FMEA. **FMEA - Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial**. 2019. Disponível em <<https://fmea.com.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2019.

GERHARDT, T. E. ; SILVEIRA, D. T. (Org.) . **Métodos de Pesquisa**. 1.ed. v. 1. p.118. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

HESSE, S. **99 Examples of pneumatic applications**. Germany: Festo, 2000.

IVANTYSYNOVA, M. **Fluid power education – demands of the 21st century**. In: PROCEEDINGS OF 1ST BRATISLAVIAN FLUID POWER SYMPOSIUM. p. 5-12. Slovakia: Slovak University of Technology in Bratislava, 1998.

KUMAMOTO, H.; HENLEY, E.J. **Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists**. 2. ed. p. 597. New York: IEEE Press, 1996.

LANA, E. D. **Avaliação do rendimento de bombas hidráulicas de engrenagens externas através de medição de temperatura**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

LIMA, H. M. A. **Análise de confiabilidade e falhas através do FMEA em motores de partida pneumáticos de motores de ciclo otto turbinados e aspirados movidos a gás natural**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharias, Caraubas: Universidade Federal Rural do Semi Árido, 2018.

MEDEIROS, Ricardo Ripoll de. **Métodos de Análise de Falha em Sistemas Hidráulicos**. In: XX Congresso de Iniciação Científica / III Mostra Científica, 2011, Pelotas. Anais do XX Congresso de Iniciação Científica / III Mostra Científica, 2011.

NASCIMENTO, F. P. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC**, 2016.

PARKER. **Hidráulica industrial**. Apostila M 2001-2, p. 233. Elyria, 2008.

PARKER. **Tecnologia Pneumática Industrial. Apostila M1001-1 BR**. p. 195. Elyria, 2007.

PAVANI, S. A.. **Comandos pneumáticos e hidráulicos**. 3. Ed. p. 182. Universidade Federal de Santa Maria : Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.

PORCIÚNCULA, G. S. **Análise de Falha em Sistemas**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2017.

PORDEUS, Roberto Vieira. **Fenômenos de Transporte Mecânica de Fluidos: Considerações e Propriedade dos Fluidos**. p.30. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2013.

RAUSAND, M.; HØYLAND, A. **System reliability theory: models, statistical methods, and applications**. New York: John Wiley & Sons, 2004.

REASON, J. **Managing the risk of organizational accidents**. England: Ashgate Publishing Limited, 1997.

SAXER, P. **Aplicação da FMEA para Análise de Riscos na Qualidade do Processo de Embalagens em uma Multinacional de Agroquímicos**. Monografia, Escola de Engenharia de Lorena. Lorena: Universidade de São Paulo, 2015.

SMITH, D. J. **Reliability Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers including Reliability Centred Maintenance Safety-related Systems**. 6. ed. p.335. Burlington: Butterworth Heinemann, 2000.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effects Analysis: FMEA from Theory to Execution**, ASQC Quality Press Milwaukee: Wisconsin, 1995.

APÊNDICE A – Banco de Dados

Banco de dados				
Componente	Modo de falha	Efeito	Causa	Ações Recomendadas
Atuador	Atuador exercendo movimentos sem instabilidade	Efeito Stick-Slip	Ar dentro do cilindro.	Faça um sangramento no cilindro hidráulico.
Atuador	Atuador exercendo movimentos sem instabilidade	Efeito Stick-Slip	As vedações estão gastas.	Realize a troca das vedações.
Atuador	Atuador exercendo movimentos sem instabilidade	Efeito Stick-Slip	Forças radiais presentes na haste do pistão e no cilindro.	Remodele a maneira que o cilindro se encontra, de forma que elimine as forças radiais.
Atuador	Danificação das tampas do atuador hidráulico.	O cilindro não exerce nenhum amortecimento quando atinge o final de curso.	O sistema de amortecimento não está bem configurado.	Defina o amortecimento ajustável do final de curso.
Atuador	Imprecisão na posição da haste durante o movimento.	Haste do pistão folgada/solta.	As vedações estão gastas.	Realize a troca das vedações.
Atuador	Imprecisão na posição da haste durante o movimento.	Haste do pistão folgada/solta.	Forças radiais presentes na haste do pistão e no cilindro.	Remodele a forma que o cilindro se encontra, de forma que elimine as forças radiais.
Atuador	Vazamento das linhas de conexão.	Vazamento de fluido através das conexões vinculadas ao atuador hidráulico.	A armação está folgada.	Apertar os componentes que compõem a armação.
Atuador	Vazamento das linhas de conexão.	Vazamento de fluido através dos elementos com vedações gastas do atuador.	As vedações estão gastas.	Realize a troca das vedações.
Bomba Hidráulica	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Flutuações de pressão.	Condições insuficientes de sucção.	Preencha a linha de sucção com fluido hidráulico.
Bomba Hidráulica	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Flutuações de vazão.	Condições insuficientes de sucção.	Preencha a linha de sucção com fluido hidráulico.
Bomba Hidráulica	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Condições insuficientes de sucção.	Preencha a linha de sucção com fluido hidráulico.
Bomba Hidráulica	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Ruídos incomuns.	Condições insuficientes de sucção.	Preencha a linha de sucção com fluido hidráulico.
Bomba Hidráulica	Ausência de fluido no interior da bomba hidráulica.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Condições insuficientes de sucção.	Preencha a linha de sucção com fluido hidráulico.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Flutuações de pressão.	Condições insuficientes de sucção.	Verifique o sistema, otimize as condições de entrada e use o fluido hidráulico adequado.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Flutuações de vazão.	Condições insuficientes de sucção.	Verifique o sistema, otimize as condições de entrada e use o fluido hidráulico adequado.

Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Condições insuficientes de sucção.	Verifique o sistema, otimize as condições de entrada e use o fluido hidráulico adequado.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Ruídos incomuns.	Condições insuficientes de sucção.	Verifique o sistema, otimize as condições de entrada e use o fluido hidráulico adequado.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está com suas vias entupidas.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Condições insuficientes de sucção.	Verifique o sistema, otimize as condições de entrada e use o fluido hidráulico adequado.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está vazando fluido.	Vazamento externo na bomba hidráulica ou vazamento de óleo em um elemento da bomba durante a operação.	Vazamento na engrenagem externa por estar mal parafusada.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está vazando fluido.	Vazamento externo na bomba hidráulica ou vazamento de óleo em um elemento da bomba durante a operação.	Aumento na temperatura do óleo pode causar o vazamento do mesmo entre alguns componentes da bomba hidráulica.	Limpe a bomba hidráulica (nunca use solventes ou agentes de limpeza corrosivos).
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica está vazando fluido.	Vazamento externo na bomba hidráulica ou vazamento de óleo em um elemento da bomba durante a operação.	Vazamento através de componentes da bomba hidráulica em função de algum elemento desgastado (anel ou vedações, por exemplo).	Verifique por onde o fluido hidráulico está vazando e corrija a causa da falha.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica foi montada incorretamente.	Ruídos incomuns.	Fixação inadequada da bomba hidráulica.	Verifique como deve ser realizada a fixação de acordo com as especificações do fabricante.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica foi montada incorretamente.	Ruídos incomuns.	Fixação inadequada das peças de fixação (acoplamento e linhas hidráulicas).	Fixe as peças de acordo com as informações fornecidas de acoplamento e encaixe. pelo fabricante.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Dados operacionais não alcançados.	Danos mecânicos na bomba hidráulica.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Danos mecânicos na bomba hidráulica.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Dados operacionais não alcançados.	Desgaste na bomba hidráulica.	Troque a unidade.

Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Desgaste na bomba hidráulica.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Desgaste na bomba hidráulica.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Desgaste ou dano mecânico a unidade.	Troque a unidade.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Desgaste ou dano mecânico a unidade.	Troque a unidade.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Velocidade de rotação não pode ser alcançado.	Desgaste ou dano mecânico a unidade.	Troque a unidade.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Falhas na unidade mecânica.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Falhas na unidade mecânica.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Pressão insuficiente.	Cheque a pressão.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Ruídos incomuns.	Sentido de rotação errado.	Troque para a direção correta de rotação
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Velocidade de rotação não pode ser alcançado.	Sentido de rotação errado.	Troque para a direção correta de rotação

Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Dados operacionais não alcançados.	Vazão insuficiente na bomba hidráulica.	Cheque a função que alterna a vazão na bomba hidráulica.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Velocidade de rotação não pode ser alcançado.	Vazão insuficiente na bomba hidráulica.	Cheque a função que alterna a vazão na bomba hidráulica.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Velocidade de movimento muito lenta.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Bomba hidráulica não transmite/transmite parcialmente energia hidráulica para os demais componentes.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Velocidade de movimento muito lento.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Danificação dos elementos internos da bomba hidráulica.	Aumento incomum da vibração.	Rolamentos gastos	Troque os rolamentos.
Bomba Hidráulica	Danificação dos elementos internos da bomba hidráulica.	Instabilidade e vibrações.	Ressonância na linha do reservatório.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Danificação dos elementos internos da bomba hidráulica.	Ruídos incomuns.	Danos mecânicos na bomba hidráulica.	Troque a bomba hidráulica .
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Dados operacionais não alcançados.	O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.	Verifique a temperatura e use um fluido hidráulico adequado.
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Pressão insuficiente ou inexistente.	O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.	Verifique a temperatura e use um fluido hidráulico adequado.
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Ruídos incomuns.	Velocidade de movimentação muito baixa.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Temperatura excessiva do fluido hidráulico.	Temperatura elevada de partida na bomba hidráulica.	Inspeccionar o sistema ou enviar para o fabricante.
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Temperatura excessiva do fluido hidráulico.	Mau funcionamento na válvula de controle de pressão.	Contate o fabricante.
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Temperatura excessiva do fluido hidráulico.	Mau funcionamento da válvula de descarga.	Contate o fabricante.
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Temperatura excessiva do fluido hidráulico.	Desgaste na bomba hidráulica.	Envie para o fabricante do equipamento para reparos.
Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Vazão insuficiente ou inexistente.	O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.	Verifique a temperatura e use um fluido hidráulico adequado.

Bomba Hidráulica	Fluido com alto índice de viscosidade.	Velocidade de rotação não pode ser alcançado.	O fluido hidráulico não está com a viscosidade ideal.	Verifique a temperatura e use um fluido hidráulico adequado.
Bomba Hidráulica	Instabilidade na criação de energia hidráulica para o sistema.	Dados operacionais não alcançados.	Pressão insuficiente no piloto ou no controle de pressão.	Verifique a pressão no piloto ou a pressão no controle, envie para o fabricante em último caso para reparos.
Bomba Hidráulica	Instabilidade na criação de energia hidráulica para o sistema.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Pressão insuficiente no piloto ou no controle de pressão.	Verifique a pressão no piloto ou a pressão no controle, envie para o fabricante em último caso para reparos.
Bomba Hidráulica	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Flutuações de pressão.	Bomba hidráulica com sangramento insuficiente.	Ar dentro da bomba hidráulica.
Bomba Hidráulica	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Flutuações de vazão.	Bomba hidráulica com sangramento insuficiente.	Ar dentro da bomba hidráulica.
Bomba Hidráulica	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Ruídos incomuns.	Sangramento de ar insuficiente no sistema hidráulico.	Preencha na bomba hidráulica, na linha de sucção e no reservatório.
Bomba Hidráulica	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Ruídos incomuns.	Sangramento de ar insuficiente no sistema hidráulico.	Purgue completamente o ar da hidráulica e no sistema hidráulico.
Bomba Hidráulica	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Ruídos incomuns.	Sangramento de ar insuficiente no sistema hidráulico.	Verifique a posição correta de instalação.
Bomba Hidráulica	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Sangramento de ar insuficiente no sistema hidráulico.	Preencha na bomba hidráulica, na linha de sucção e no reservatório.
Bomba Hidráulica	Presença de ar no interior da bomba hidráulica.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Sangramento de ar insuficiente no sistema hidráulico.	Purgue completamente do sistema hidráulico.
Bomba Hidráulica	Presença de contaminações no interior da bomba hidráulica.	Flutuações de vazão.	Condições insuficientes de sucção.	Remova contaminações da linha de sucção.
Bomba Hidráulica	Presença de contaminações no interior da bomba hidráulica.	Pressão insuficiente ou inexistente.	Condições insuficientes de sucção.	Remova contaminações da linha de sucção.
Bomba Hidráulica	Presença de contaminações no interior da bomba hidráulica.	Ruídos incomuns.	Condições insuficientes de sucção.	Remova contaminações da linha de sucção.
Bomba Hidráulica	Presença de contaminações no interior da bomba hidráulica.	Vazão insuficiente ou inexistente.	Condições insuficientes de sucção.	Remova contaminações da linha de sucção.
Filtro	Elemento filtrante inadequado para o sistema (quanto a porosidade)	Contaminação mais constante que as tarefas de limpeza.	Erro de projeto.	Realize ajustes no projeto, escolha um filtro adequado para o sistema.
Filtro	Elemento filtrante inadequado para o sistema (quanto a porosidade)	Emperramento ou entupimento das partes móveis de componentes.	Erro de projeto.	Realize ajustes no projeto, escolha um filtro adequado para o sistema.
Filtro	Elemento filtrante inadequado para o sistema (quanto a porosidade)	Maior desgaste nos demais componentes do sistema.	Erro de projeto.	Realize ajustes no projeto, escolha um filtro adequado para o sistema.

Filtro	Entupimento	Redução parcial ou completa do movimento dos atuadores.	Obstrução da passagem de óleo devido a contaminação do fluido.	Realize uma limpeza na(s) via(s) entupidas do filtro.
Filtro	Ruptura do elemento filtrante.	Contaminação mais constante que as tarefas de limpeza.	Desintegração do papel do elemento filtrante.	Troque o papel do elemento filtrante.
Filtro	Ruptura do elemento filtrante.	Contaminação mais constante que as tarefas de limpeza.	Danificação dos elementos do filtro através do desgaste.	Troque o filtro.
Filtro	Ruptura do elemento filtrante.	Emperramento ou entupimento das partes móveis de componentes.	Elevada vazão para o filtro selecionado.	Troque para um filtro que suporte a vazão necessária nas especificações.
Filtro	Ruptura do elemento filtrante.	Emperramento ou entupimento das partes móveis de componentes.	Pressão alta em função do acúmulo de contaminação.	Limpe as contaminações dentro do filtro.
Válvula de pressão	Danificação dos elementos internos da válvula de pressão.	A pressão na válvula está acima do permitido.	A vedação axial da válvula está gasta.	Insira uma nova vedação de maneira adequada.
Válvula de pressão	Danificação dos elementos internos da válvula de pressão.	A vedação ou o carcaça da válvula está danificado/ausente.	A vedação ou a carcaça foi destruída/danificada por ação humana ou influência mecânica.	No caso de danificação da carcaça da válvula, substitua a válvula de pressão.
Válvula de pressão	Danificação dos elementos internos da válvula de pressão.	A vedação ou o carcaça da válvula está danificado/ausente.	A vedação ou a carcaça foi destruída/danificada por ação humana ou influência mecânica.	No caso de danificação da carcaça da válvula, substitua a válvula de pressão.
Válvula de pressão	Danificação dos elementos internos da válvula de pressão.	O controle de válvula é destruído.	Tratamento impróprio.	Envie a válvula para uma empresa autorizada para reparo.
Válvula de pressão	Danificação dos elementos internos da válvula de pressão.	O valor de pressão indicado na válvula não é alcançado quando comparado ao da bancada.	Ausência de alguma vedação ou uso de uma vedação incorreta.	Coloque a vedação correta.
Válvula de pressão	Presença de contaminação no interior da válvula de pressão.	A pressão na válvula está acima do permitido.	A sujeira impede o fechamento da válvula de segurança.	Faça a limpeza do óleo de forma apropriada.
Válvula de pressão	Válvula de pressão está vazando fluido.	Vazamento através das peças com vedação desgastada.	A vedação de ajuste do dispositivo está desgastada.	Substitua a válvula de pressão.
Válvula de pressão	Válvula de pressão está vazando fluido.	Vazamento através dos elementos da válvula de pressão mal parafusados.	O(s) parafuso(s) está/estão frouxo(s) ou o anel está danificado.	Troque o anel e aperte o parafuso de maneira adequada.
Válvula de pressão	Válvula de pressão está vazando fluido.	Vazamento de fluido através dos elementos conectados ao anel da bomba.	O anel da válvula está gasto.	Substitua o anel.
Válvula de pressão	Válvula de pressão está vazando fluido.	Vazamento de fluido por meio das ligações entre a carcaça, a placa de conexão ou através dos elementos ligados entre o anel da bomba.	Há um vazamento entre a carcaça e a placa de conexão da válvula em virtude do anel utilizado na carcaça desgastado.	Insira um novo anel utilizando o método apropriado e aparafuse novamente os parafusos de montagem da válvula.
Válvula de pressão	Válvula de pressão está vazando fluido.	Vazamento pelos elementos anexados a carcaça da válvula.	As vedações nos elementos anexados a válvula podem	Desmonte a válvula de pressão e verifique se os anéis estão bem

			estar mal encaixada ou danificadas.	encaixados ou danificados, substitua por novos anéis se necessário.
Válvula de pressão	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	A pressão da válvula é muito baixa.	Instalação da válvula de pressão incorreta, com limite de pressão divergente do necessário.	Selecione na válvula o limite de pressão adequado.
Válvula de pressão	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	A pressão da válvula é muito baixa.	A diferença entre a pressão operacional e da válvula é pequena.	Verifique se o sistema pode ser operado com pressão operacional mais baixa ou escolha uma válvula com limite de pressão adequada.
Válvula de pressão	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	A pressão na válvula está acima do permitido.	Instalação da válvula de pressão incorreta, com limite de pressão divergente do necessário.	Selecione a válvula com limite de pressão adequada.
Válvula de pressão	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	A pressão na válvula está acima do permitido.	A diferença entre a pressão operacional e da válvula é pequena.	Verifique se o sistema pode ser operado com pressão operacional mais baixa ou escolha uma válvula com limite de pressão adequada.
Válvula de pressão	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	O valor de pressão indicado na válvula é menor quando comparado ao da bancada.	As peças da válvula estão misturadas.	Verifique as entradas, conecte a válvula de segurança corretamente. Observe as conexões designadas a entrada P e T.
Válvula de pressão	Válvula de pressão não está funcionando corretamente.	O valor de pressão indicado na válvula é menor quando comparado ao da bancada.	A válvula de segurança está danificada e bloqueada internamente.	Substitua a válvula de segurança.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação.	Conexão elétrica interrompida.	Verifique se todos conectores elétricos de encaixe estão corretamente montados.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação.	Quebra de cabo.	Substituir o cabo de conexão.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação.	Conector com defeito danificado.	Substituir o conector.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação.	Monitoramento da posição da comutação ou pressostato com defeito.	Substituir a válvula hidráulica ou o pressostato.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula não liga (em caso de controle elétrico).	Conexão elétrica interrompida.	Verifique se todos conectores elétricos de encaixe estão corretamente montados.

Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula não liga (em caso de controle elétrico).	Quebra de cabo.	Substituir o cabo de conexão.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula não liga (em caso de controle elétrico).	Solenóide elétrica com defeito.	Trocar o solenóide, entrar em contato com a assistência hidráulica.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula não liga (em caso de controle elétrico).	Conector com defeito.	Substituir o conector.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não permite a passagem de fluido.	Válvula de retenção não funciona.	Falta de pressão de controle.	Verificar ou restabelecer a pressão nas conexões.
Válvula de retenção	Válvula de retenção não permite a passagem de fluido.	Válvula de retenção não funciona.	Os êmbolos prendem devido a sujeira.	Procure soltar o êmbolo acionando o dispositivo de acionamento auxiliar. Desmonte a válvula hidráulica e substitua o êmbolo.
Válvula de retenção	Vazamento do fluido para o exterior da válvula.	Vazamento externo.	Vedações danificadas na área de conexão	Desmontar os componentes hidráulicos e trocar as vedações.
Válvula de retenção	Vazamento do fluido para o exterior da válvula.	Vazamento externo.	Outros vazamentos.	Substituir a válvula hidráulica.
Válvula direcional	Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação	Conector com defeito.	Substituir o conector.
Válvula direcional	Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação	Monitoramento da posição da comutação ou pressostato com defeito.	Substituir a válvula hidráulica ou o pressostato.
Válvula direcional	Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.	Válvula direcional não liga	Ausência de pressão no piloto.	Verifique e reaplique pressão nas portas.
Válvula direcional	Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.	Válvula direcional não liga	A bobina está presa em virtude de contaminação.	Tente liberar a bobina, em último caso, substitua a válvula hidráulica.
Válvula direcional	Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.	Válvula direcional não liga (em caso de controle elétrico)	Defeito elétrico na bobina do solenóide.	Substitua a bobina do solenóide.
Válvula direcional	Válvula direcional não alterna posição ou alterna posição sem precisão.	Válvula direcional não liga (em caso de controle elétrico)	Conector com defeito.	Substitua o conector.
Válvula direcional	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação	Conexão elétrica interrompida.	Verifique se todos conectores elétricos de encaixe estão corretamente montados.
Válvula direcional	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.	Sem sinais de monitoramento da posição de comutação	Quebra de cabo.	Substituir o cabo de conexão.
Válvula direcional	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula direcional não liga	Sem pressão na entrada P.	Cheque se a entrada P está recebendo pressão e, se necessário, faça a restauração.

Válvula direcional	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula direcional não liga (em caso de controle elétrico)	Conexão elétrica interrompida.	Verifique se todos conectores elétricos de encaixe estão corretamente montados.
Válvula direcional	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula direcional não liga (em caso de controle elétrico)	Cabo danificado.	Troque o cabo de conexão.
Válvula direcional	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula direcional não liga (em caso de controle elétrico)	Tensão operacional dos componentes utilizados inferior a voltagem da válvula.	Verifique a tensão de operação e, se necessário, restaure.
Válvula direcional	Válvula direcional não funciona ou funciona parcialmente.	Válvula direcional não liga (em caso de controle elétrico)	Problemas de contato na conexão do terminal.	Verifique os parafusos de montagem da conexão do terminal e aperte-os novamente, se necessário.
Válvula direcional	Vazamento do fluido para o exterior da válvula.	Vazamento externo.	As vedações na superfície de conexão estão danificadas.	Substitua as vedações.
Válvula direcional	Vazamento do fluido para o exterior da válvula.	Vazamento externo.	Outro vazamento.	Substitua a válvula direcional.