



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

**PRINCIPAIS FATORES QUE CONTRIBUEM EM FALHAS DE CILINDROS E BOMBAS
HIDRÁULICAS UTILIZADAS PARA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

George Ciro C. de S. Marconi¹

Marinilda Lima²

RESUMO: O presente artigo tem como objetivo trazer a abordagem sobre os principais fatores que contribuem para falhas em cilindros e bombas hidráulicas utilizados para manutenção industrial e como estes podem ser reduzidos ou evitados. Foram realizadas pesquisas bibliográficas a partir de livros e artigos acadêmicos sobre equipamentos hidráulicos, assim como manuais de operação de fabricantes deste segmento. Também foi realizado um levantamento dentro de uma empresa de manutenção hidráulica durante o período de oito meses. Através dos dados levantados e da literatura consultada, verificou-se que os principais motivos que levam a falha deste tipo de equipamento é contaminação do óleo hidráulico e ausências de ações proativas e de planejamento para gerenciamento das falhas. Conclui-se neste estudo que, a partir das ações recomendadas para cada tipo de falha identificada, o usuário/companhia que emprega este tipo de equipamento terá uma maior disponibilidade dos seus ativos ao mesmo tempo que reduzirá o seu custo de manutenção e aumentará a segurança operacional.

Palavras-Chaves: Manutenção; Hidráulica; Falha; Disponibilidade, Confiabilidade

¹ Pós-Graduando em Engenharia de Confiabilidade. Centro Universitário SENAI CIMATEC

E-mail: georgeemarconi@gmail.com.

² Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, Pesquisadora e docente Centro Universitário SENAI CIMATEC. E-mail: marinilda.lima@fieb.org.br

1 INTRODUÇÃO

Desde o início de sua existência a humanidade utilizou a movimentação de fluidos para realizar atividades que facilitassem sua vida. A roda d'água, máquina que utiliza da água corrente para criar energia por meio de pás montadas em torno de uma roda, tem sua primeira referência datada cerca de 4000aC (MUSEUWEG, 2021). A ideia de empregar o fluido em diferentes sistemas foi sendo cada vez mais difundida, e novos equipamentos e processos foram criados para que se pudesse explorar o máximo de eficiência na utilização de sistemas hidráulicos.

Cada vez mais desenvolvidos e fundamentando-se na sua capacidade de transmitir grandes parcelas de forças ocupando um mínimo espaço físico, os sistemas hidráulicos foram inseridos na indústria a partir do século XVIII, com o surgimento da revolução industrial. Segundo Moreira, (2012), a aplicação de sistemas hidráulicos cresceu de forma abrupta, visto suas excelentes características quando comparados a outros métodos de transmissão de energia.

Sobre a utilização dos sistemas hidráulicos na indústria:

... os sistemas hidráulicos são aplicados em larga escala na transmissão de movimentos e multiplicação de forças em praticamente todos os setores industriais. Desde máquinas operatrizes, de conformação, de embalagem, gráficas, têxteis, dentre outras, até equipamentos móveis utilizados em automóveis, caminhões, veículos industriais e agrícolas, aeronaves e embarcações (MOREIRA, 2012, p. 9).

Dentro de todo o universo de aplicação hidráulica utilizada nos diversos segmentos da indústria, existe uma classe de equipamentos designadas para assistir nas atividades de manutenção. Diferentemente de outras máquinas que tem a aplicabilidade sobre a linha produtiva ou na execução de uma determinada função em um sistema específico, essa categoria de equipamentos fornece aos usuários a capacidade de realizar importantes tarefas de manutenção, como: içamento, tensionamento e afastamento de cargas, aplicação de torque, realização de corte, alinhamento etc. Apesar de sua vasta utilização, a percepção sobre funcionamento e manutenção deste tipo de equipamento ainda é bastante precária.

Apesar de sua simplicidade operacional, os equipamentos hidráulicos utilizados para manutenção industrial apresentam diferentes modos de falhas, com diferentes causas raízes, que se não abordados da forma correta podem se tornar um problema bastante significativo para a empresa, seja pelo grave risco de acidente durante a operação (visto que podem trabalhar com pressões acima de 10000 PSI e são capazes de elevar cargas acima de 500 toneladas) ou por ocasionar a indisponibilidade de algum maquinário durante o processo de manutenção, caso não consigam executar a sua função principal.

Mesmo diante de tanta relevância, algumas empresas ainda mantêm a cultura de terceirizar integralmente a responsabilidade pela manutenção desses equipamentos, podendo gerar uma falta de estímulos sobre conhecimento e práticas que prolonguem a vida útil destes equipamentos. Desse modo, faz-se necessário estudos que busquem entender os princípios de funcionamento, identificar potenciais falhas e determinar de que forma deve-se agir perante o gerenciamento de manutenção deste tipo de equipamento. O artigo tem como objetivo efetuar o levantamento dos principais fatores que contribuem para falhas em equipamentos hidráulicos utilizados para manutenção industrial, buscando o aumento de segurança operacional, maior disponibilidade dos seus ativos e redução do custo de manutenção.

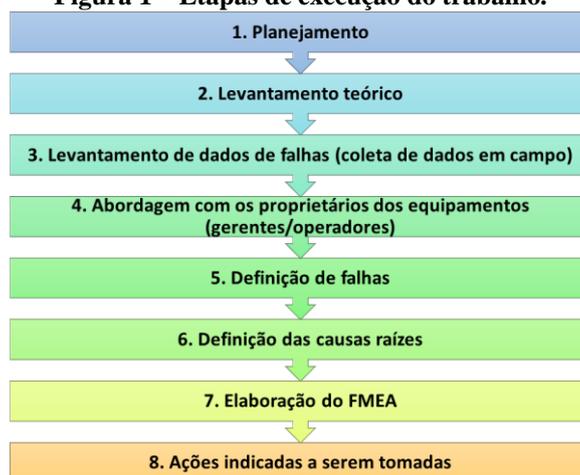
2 FALHAS EM EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS UTILIZADOS NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DA CASO

O estudo de caso foi realizado em uma empresa que atua com a manutenção de equipamentos hidráulicos utilizados para manutenção industrial. O desenvolvimento deste trabalho buscou, inicialmente, identificar através da bibliografia disponível os principais causadores de falhas em sistemas hidráulicos. Entretanto, apesar da literatura apresentar bastante informações, muitas falhas relacionados com essa classe de equipamento são ocasionadas devido a forma quase que particular de sua operação. Desse modo, um levantamento de falhas foi realizado durante o período de oito meses (novembro/2020 a junho/2021), na qual foi possível realizar o cruzamento de informações entre os dados obtidos na bibliografia consultada e os casos reais que existem dentro da indústria.

2.1 METODOLOGIA

Durante este trabalho de coleta de dados técnicos sobre as falhas e seus causadores, entrevistas foram sendo realizadas de forma ampla, com os proprietários dos equipamentos, a fim de entender como se dava a política de tratamento de falhas e entendimento sobre o modo de operação realizado. De maneira simplificada, as etapas de trabalho seguiram a sequência apresentada na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Etapas de execução do trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

1. Planejamento: Nesta etapa foi definido como seriam coletadas as informações necessárias para alcançar os objetivos almejados, selecionando os tipos de fontes de pesquisa e determinando a forma como deveria ser realizado o levantamento de dados em campo.
2. Levantamento teórico: Etapa em que foi realizada toda pesquisa relevante sobre princípios básicos e funcionamento de equipamentos hidráulicos. Foram consultados diversos artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, manuais de operação de fabricantes desse segmento, livros de autores renomados, entre outros.
3. Levantamento de dados de falhas (coleta de dados em campo): Após a pesquisa bibliográfica, foram coletados os dados de campo. Durante oito meses, foram avaliadas falhas em equipamentos hidráulicos utilizados para manutenção industrial que eram enviados para reparo em uma empresa especializada neste tipo de equipamento. Todas as informações foram catalogadas e inseridas em uma planilha de Excel para visualização da recorrência dos tipos de falhas.
4. Abordagem com os proprietários dos equipamentos (gerentes/operadores): Concomitante a coleta de dados em campo, foram realizadas entrevistas com gerentes e operadores das empresas que possuíam esses tipos de ativos. Foram questionados os procedimentos de segurança, a forma como os materiais eram operados em campo e sobre a política de gerenciamento de manutenção e treinamento para este tipo de equipamento.
5. Definição das principais falhas: Foram catalogadas todas as falhas encontradas em todos os equipamentos mantidos. Todas as falhas enumeradas foram inseridas dentro de uma seção para a empresa da qual pertencia o material.
6. Definição das causas raízes: Nessa etapa, foi realizado definição das causas raízes. As informações sobre sistemas hidráulicos exploradas nas pesquisas bibliográficas auxiliaram na sustentação para determinar algumas causas raízes.

7. Ações indicadas a serem tomadas: Para as principais falhas elencadas (as quais tiveram a sua causa raiz estudada), foram recomendadas ações que mitigassem uma nova ocorrência dessa adversidade.

2.2 DIFERENTES TIPOS DE EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS UTILIZADOS NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Antes de apresentar os dados de falhas coletados, se faz importante visualizar os principais tipos de equipamentos utilizados para essas atividades e a função principal de cada um. A Figura 2 identifica cada um desses itens:

Figura 2 - Diferentes tipos de equipamentos utilizados na manutenção industrial



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

1. **Bomba hidráulica de acionamento manual:** Utilizada para fornecer óleo hidráulico com pressão e vazão pré-determinado as ferramentas de operação. Acionamento de forma manual.
2. **Bomba hidráulica de acionamento elétrico:** Utilizada para fornecer óleo hidráulico com pressão e vazão pré-determinado as ferramentas de operação. Acionamento de forma elétrica.
3. **Cilindro hidráulico:** Transforma a pressão advinda da bomba hidráulica em força de tonelagem para içar ou tensionar cargas.
4. **Afastador de flange:** Transforma a pressão advinda da bomba hidráulica em força de tonelagem para separar flanges.
5. **Tensionador hidráulico:** Transforma a pressão advinda da bomba hidráulica em força de tonelagem para tensionar parafusos em juntas flangeadas.
6. **Cortador de porca:** Transforma a pressão advinda da bomba hidráulica em força de tonelagem para cortar porcas.

Dentre todos os equipamentos apresentados, a bomba manual e o cilindro hidráulico são os mais utilizados, visto que a bomba é a unidade acionadora, responsável por fornecer pressão ao fluido, enquanto o cilindro possui as duas funções mais requisitadas nas operações de manutenção: erguer e

tensionar cargas. Assim, o estudo apresentado nesse trabalho baseia-se na análise de falhas em bombas manuais e cilindros hidráulicos. É importante ressaltar que as demais ferramentas (afastador de flange, tensionador hidráulico e cortador de porca) partem do mesmo princípio de funcionamento do cilindro hidráulico e desse modo, as análises de falhas realizadas para o cilindro podem ser abrangidas para essas outras ferramentas.

2.2.1 Coleta de dados: Modos de falha em bombas e cilindros hidráulicos

Entre os meses de novembro/2020 a junho/2021 foram realizadas coletas de dados de falhas referentes a cilindros e bombas hidráulicas manuais utilizados para manutenção industrial. Todo o levantamento foi realizado dentro de uma empresa que presta serviços de recuperação em equipamentos hidráulicos de alta pressão, onde ela é credenciada por um dos maiores fabricantes deste segmento.

Vale destacar que, para determinar a ocorrência de uma falha, primeiro é necessário identificar as funções principais que esse ativo deve executar, pois uma vez que essas funções principais não sejam atendidas, pode-se considerar que há uma ocorrência de falha. A partir daí, deve ser investigado o modo e efeito de falha, determinar índices de criticidade, severidade e ocorrência, além de determinar as ações para prever ou prevenir uma nova falha.

Com o intuito de realizar uma avaliação concisa sobre os principais fatores que geram falhas neste tipo de equipamento, o levantamento englobou cinco empresas de ramos diferentes. A seguir, é apresentado na Tabela 1 os principais modos de falha identificados:

Tabela 1 - Levantamento dos principais modos de falhas apresentados em equipamentos de cinco empresas.

Nº	Descrição do Modo de falha	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Total de falhas	%
1	Baixa pressão na saída da bomba hidráulica	12	7	10	5	9	43	28%
2	Cilindro hidráulico com vazamento	6	14	0	8	6	34	22%
3	Bomba com baixa vazão de óleo hidráulico	10	5	8	0	10	33	22%
4	A bomba não mantém a pressão	7	5	8	4	1	25	16%
5	Cilindro avança, mas não retorna ou retorna parcialmente	2	2	3	1	1	9	6%
6	Topo da haste do cilindro danificado	4	1	0	3	0	8	5%
NÚMERO TOTAL DE FALHAS IDENTIFICADAS:							152	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Equipamentos que fizeram parte deste levantamento:

- Bomba hidráulica manual: Bomba de pistão axial de acionamento manual. Utilizada para fornecer óleo hidráulico com pressão e vazão pré-determinado as ferramentas de operação.
- Cilindro hidráulico: Modelos de haste maciça ou vazada e capacidade de tonelagem que variaram de 10 a 100 toneladas. Acionados através do óleo proveniente da bomba hidráulica. Realizam movimento linear e transformam a pressão advinda da bomba hidráulica em força de tonelagem para içar ou tensionar cargas

Ao analisar os dados pode-se observar que das 152 falhas catalogadas, 67% (101) foram relacionadas as bombas hidráulicas manuais, enquanto 33% (51) sobre cilindros.

Qualquer uma das falhas que ocorra com a bomba hidráulica irá afetar diretamente a utilização do cilindro, visto que este é acionado a partir da injeção de óleo hidráulico advinda da bomba. Vale ressaltar que os itens 1 e 4 da Tabela 1, que são referentes a modos de falhas apresentados para as bombas hidráulicas, terão o mesmo efeito de falha: O cilindro não terá a capacidade de operar com força (tonelagem) total para erguer/tensionar cargas.

2.2.2 Análise do principal causador de falha nas bombas hidráulicas

Durante a análise das 101 falhas encontradas para as bombas hidráulicas manuais, verificou-se que cerca de 75% dessas falhas ocorreram devido a contaminação do óleo hidráulico, que culminaram em: Tela do filtro de óleo obstruída com sujeira ou destroços, vazamento interno pela válvula de alívio e vazamento excessivo pelo pistão de acionamento devido ao desgaste prematuro do anel raspador. O Gráfico 1 apresenta os quantitativos das causas raízes evidenciadas.

Gráfico 1 - Causas raízes para as falhas encontrados nas bombas hidráulicas manuais



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Neste aspecto, pode-se constatar a importância dos fluidos hidráulicos para os equipamentos. Segundo Moreira (2012), a escolha certa e os cuidados a serem observados no uso do fluido hidráulico

são fatores preponderantes no desempenho satisfatório de uma máquina, bem como na vida útil dos componentes do sistema hidráulico. Dentre as funções do óleo hidráulico, as quatro principais são: transmissão de energia da bomba para os cilindros, lubrificação e refrigeração dos componentes e vedação das folgas entre partes móveis.

Deve se ter bastante atenção com bomba hidráulica, visto que ela é a unidade de acionamento de todo o fluido que irá percorrer o circuito. Nela está presente o reservatório hidráulico que é o ponto mais sujeito contaminação externa, visto as trocas periódicas de óleo que são realizadas. Entretanto, a contaminação pode ocorrer de outras maneiras, como por exemplo: Montagem dos componentes/acessórios, armazenamento dos tambores, juntas e vedações ruins do topo do tanque, conexões mangueiras/equipamento, sistemas com engates rápidos e etc.

As figuras a seguir apresentam alguns registros obtidos durante o período em que a coleta de falhas foi realizada.

Figura 3 – Óleo hidráulico (contaminado) encontrado dentro do reservatório da bomba manual.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 3 acima mostra duas situações em que foi encontrado óleo contaminado dentro do reservatório da bomba hidráulica, evidenciando a negligência por parte dos operadores e da equipe de manutenção com os óleos hidráulicos utilizados em seus equipamentos.

Outros fatores observados também indicam a contaminação do fluido hidráulico. A Figura 4, apresenta outros aspectos que foram levantados durante a inspeção de alguns desses equipamentos.

Figura 4 – Plug magnético montado na linha de sucção da bomba hidráulica



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na Figura 4 acima observa-se que o *plug* magnético montado na linha de sucção da bomba hidráulica possui bastante particulado sólido. Já a Figura 5 a seguir apresenta várias vedações hidráulicas com desgaste prematuro devido a ação de particulados sólidos contidos no óleo hidráulico.

Figura 5 – Jogo de vedações hidráulicas



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Pode-se observar na Figura 5 que o jogo de vedações está totalmente avariado com particulados sólidos presentes nas suas faces.

2.3 Análise sobre os modos de falhas nos cilindros hidráulicos

Os cilindros hidráulicos são ferramentas robustas, fabricados com matérias bastantes resistentes. São projetados para trabalhar com carga que ultrapassam 100 toneladas. Entretanto, o projeto de um cilindro hidráulico requer a utilização de diversas vedações hidráulicas (material polimérico) para que o fluido hidráulico permaneça confinado em sua câmara e dessa forma, este consiga exercer a sua função. Desse modo, é natural que as falhas em cilindros ocorram principalmente nos componentes mais suscetíveis a avarias, que neste caso são as vedações hidráulicas.

Das 51 falhas dos cilindros hidráulicos apresentadas na Tabela 1, 34 (66%) referem-se incapacidade de o cilindro elevar cargas. O parecer técnico sobre todas essas 34 falhas resultou no mesmo causador: jogo de vedações avariados, que inclui: gaxetas, *o-rings* e anéis raspadores e guias. A falha do cilindro devido a avarias no jogo de vedações hidráulicas é ocasionada por dois fatores principais:

- Óleo hidráulico mal especificado/contaminado: O óleo utilizado no circuito hidráulico se for mal especificado, poderá causar incompatibilidade com as vedações utilizadas no cilindro e promover um desgaste prematuro. Outra forma do óleo hidráulico ser o causador desse tipo de falha ocorre se houver a presença contaminantes ou particulados sólidos.
- Sobrecarga sobre o cilindro: Uma má especificação do modelo necessário para a operação a ser realizada pode ocasionar em uma sobrecarga sobre o cilindro e danificar não só as vedações hidráulicas, mas como a superfície de contato de trabalho.

A Figura 6 apresentada alguns registros obtidos durante o período em que a coleta de falhas foi realizada.

Figura 6 – Sobrecarga ocasiona o “efeito cogumelo” na haste do cilindro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Pode ser observado na Figura 6 acima que a haste de um cilindro hidráulico está com a ponta “esbojada”. Essa falha é uma característica bastante evidente que houve sobrecarga durante a operação. Além disso, neste mesmo cilindro foi encontrado a presença de particulados sólidos com em suas vedações hidráulicas e as vedações hidráulicas apresentam particulados sólidos.

Já a Figura 7 a seguir ilustra o cilindro hidráulico com vazamento pelo topo do cilindro.

Figura 7 – Vazamento de óleo hidráulico pelo topo do cilindro. Anel raspador avariado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota-se na Figura 7 acima, que o cilindro apresentou um vazamento de óleo pelo topo do cilindro. Ao ser desmontado, foi verificado que o tanto a gaxeta principal quanto o anel raspador estavam avariados.

3 ELABORAÇÃO DO FMEA

Com base nos dados coletados no período avaliado, fez-se necessário uma análise sobre cada modo de falhas apresentados na Tabela 1. Essa análise considerou os seus efeitos na operação e suas possíveis causas, de forma que se tornou possível atribuir ações corretivas ou preventivas para cada uma delas. O aprofundamento sobre os efeitos e modos de falha contribuiu para a operação, visto que auxilia a equipe de manutenção na preservação da função do ativo. Diferentemente da manutenção tradicional que foca em preservar o equipamento em si, essa compreensão torna o usuário muito mais capacitado para entender os eventos indesejados sobre esse ativo e sobre sua importância para todo

o sistema. Para auxiliar nesta etapa, foi utilizado a ferramenta FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).

De acordo com as ideias de Fogliato e Ribeiro (2009, p. 173)

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha) é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico.

De forma bastante intuitiva, o FMEA permite analisar possíveis falhas e suas ocorrências para a operação, assim como classificá-las para que então, seja possível gerar ações prioritárias. Para elaboração do FMEA os seguintes conceitos foram considerados:

- Modo de falha: forma como é observada/detectada a falha.
- Efeito provável: consequência (s) devido ocorrência do modo de falha.
- Causa provável: origem da falha que leva ao modo de falha.
- Severidade: avaliação qualitativa da severidade do efeito listado. Utilizou-se uma escala de 2 a 8, onde a classificação 2 o modo falha não afeta tanto o sistema nem a segurança do equipamento e operadores e para classificação 8 há um alto risco para funcionalidade do sistema, operadores e natureza. Na tabela FMEA foi abreviado para “Sev.”
- Ocorrência: probabilidade que esta falha venha ocorrer. Utilizou-se uma escala de 2 a 8, onde a classificação 2 o modo de falha é muito improvável que ocorra e para classificação 8 é quase inevitável de ocorrer. Na tabela FMEA foi abreviado para “Ocor.”
- Detecção: estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente ou subsistema ser liberado para produção. Utilizou-se uma escala de 2 a 8, onde a classificação 2 é muito fácil de detectar o modo de falha e para classificação 8 é um modo de falha que ocorre sem que seja possível detectá-lo. Na tabela FMEA foi abreviado para “Det.”
- NPR: Número de Prioridade de Risco. Calculado para priorizar as ações de correção e melhoria do projeto. No cálculo do risco leva-se em conta a severidade, ocorrência e detecção.
- Ações corretivas recomendadas: descrição da tarefa recomendada a ser efetuada pela manutenção.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas detalhadamente os FMEAs desenvolvidos para bomba hidráulica manual e cilindro hidráulico. Vale ressaltar que na elaboração da FMEA participaram dois engenheiros mecânicos e um técnico de mecânica.

Tabela 2 – FMEA elaborado para bomba hidráulica de acionamento manual

FMEA - BOMBA HIDRÁULICA DE ACIONAMENTO MANUAL							
MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA PROVÁVEL	Sev.	Ocor.	Det.	NPR	AÇÃO CORRETIVA RECOMENDADA
Baixa pressão na saída da bomba hidráulica	Cilindro sem capacidade de operar com força total para erguer ou tensionar cargas	Válvula de segurança danificada ou com regulagem fora da especificação do fabricante.	6	2	2	24	Inspecionar a válvula e verificar a pressão regulada.
		Elementos de vedação da válvula de alívio com avaria ou fim de vida útil.	6	8	2	96	Inspecionar o óleo hidráulico e limpar a sede da válvula. Substituir o óleo e as vedações se necessário.
		Vazamento excessivo pelo pistão de acionamento devido ao desgaste/avaría do anel raspador. Vazamento pela mangueira ou conector hidráulico.	6	8	2	96	Inspecionar o óleo hidráulico e as vedações e limpar a sede onde estão montadas. Inspecionar mangueiras e conector hidráulico. Substituir o óleo e as vedações se necessário.
		Baixo nível ou ausência de óleo hidráulico.	6	2	2	24	Encher o reservatório com óleo hidráulico recomendado pelo fabricante até o volume pré-estabelecido.
		Tela do filtro de óleo obstruída com sujeira ou destroços.	6	8	2	96	Inspecionar o óleo hidráulico e limpar a tela do filtro de óleo. Substituir o óleo e o filtro se necessário.
A bomba não mantém a pressão		Vazamento excessivo pelo pistão de acionamento devido ao desgaste/avaría do anel raspador. Vazamento pela mangueira ou conector hidráulico.	6	8	2	96	Inspecionar o óleo hidráulico e as vedações e limpar a sede onde estão montadas. Inspecionar mangueiras e conector hidráulico. Substituir o óleo e as vedações se necessário.
		Elementos de vedação da válvula de alívio com avaria ou fim de vida útil.	6	8	2	96	Inspecionar o óleo hidráulico e limpar a sede da válvula. Substituir o óleo e as vedações se necessário.
Baixa vazão de óleo hidráulico	Operação fora do padrão: Tempo excessivo para extensão ou retração do cilindro	Vazamento excessivo pelo pistão de acionamento devido ao desgaste/avaría do anel raspador. Vazamento pela mangueira ou conector hidráulico.	2	8	2	32	Inspecionar o óleo hidráulico e as vedações e limpar a sede onde estão montadas. Inspecionar mangueiras e conector hidráulico. Substituir o óleo e as vedações se necessário.
		Elementos de vedação da válvula de alívio com avaria ou fim de vida útil.	2	8	2	32	Inspecionar o óleo hidráulico e limpar a sede da válvula. Substituir o óleo e as vedações se necessário.
		Tela do filtro de óleo obstruída com sujeira ou destroços.	2	8	2	32	Inspecionar o óleo hidráulico e limpar a tela do filtro de óleo. Substituir o óleo e o filtro se necessário.
		Baixo nível ou ausência de óleo hidráulico.	2	2	2	8	Encher o reservatório com óleo hidráulico recomendado pelo fabricante até o volume pré-estabelecido.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 3 – FMEA elaborado para cilindro hidráulico utilizado para manutenção industrial

FMEA – CILINDRO HIRÁULICO UTILIZADO PARA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL							
MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA PROVÁVEL	Sev.	Ocor.	Det.	NPR	AÇÃO CORRETIVA RECOMENDADA
Pistão do cilindro não avança ou avança lentamente	Não realização ou dificuldade de executar a tarefa de erguer ou tensionar.	Vazamento de óleo hidráulico pelo topo do cilindro.	6	6	2	72	Inspecionar as vedações e limpar a sede onde estas são montadas. Substituir se necessário.
		O nível de óleo hidráulico no reservatório da bomba é baixo.	6	2	2	24	Encher o reservatório com óleo hidráulico recomendado pelo fabricante até o volume pré-estabelecido.
		Válvula de alívio da bomba hidráulica está aberta.	6	2	2	24	Fechar a válvula de alívio.
		Sobrecarga sobre a haste do cilindro.	6	4	2	48	Verificar a capacidade nominal de elevação de carga do cilindro hidráulico.
		A linha hidráulica contém ar.	6	2	2	24	Realizar o procedimento de extração de ar na linha hidráulica.
		Vazamento pela mangueira ou conector hidráulico	6	2	2	24	Inspecionar mangueiras e conector hidráulico. Substituir se necessário.
Pistão do cilindro avança, mas não retorna ou retorna parcialmente	Parada na operação. Não é possível remover a ferramenta do local trabalhado ou utilizá-lo em outra operação.	Válvula de alívio da bomba hidráulica está fechada.	4	2	2	16	Abrir a válvula de alívio.
		A linha hidráulica contém ar.	4	4	2	32	Realizar o procedimento de extração de ar na linha hidráulica.
		Mola de retração do cilindro danificada.	4	6	2	48	Inspecionar a mola de retração. Substituir se necessário.
		Reservatório de óleo hidráulica está cheio.	4	2	2	16	Drenar o óleo até o nível pré-estabelecido.
Topo da haste do cilindro danificado	Incapacidade de elevar cargas.	Sobrecarga sobre a haste do cilindro.	6	4	2	48	Recuperar ou substituir a haste, se necessário.
		Carga imposto de maneira não uniforme sobre toda a área do cilindro.	6	4	2	48	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices apresentados na coluna NPR do FMEA elaborado para a bomba hidráulica manual corroboram com a importância das ações proativas que as empresas que utilizam este tipo de equipamento devem adotar. Os itens destacados em amarelo (que estão com os maiores índices de NPR) foram definidos como os mais críticos.

Não há dúvidas que a contaminação do óleo hidráulico é o elo fraco em toda a cadeia de eventos que podem gerar falhas nesse tipo de equipamento e o cuidado com armazenamento, manuseio e preservação destes devem ser tratados como prioridade. Um plano de ação que inclua não só ações que visem a redução de contaminantes em fluidos hidráulicos, mas que também englobe a difusão da ideia de preservação do ativo, contribuirá para redução no número de falhas.

Já quando se avalia as principais falhas para os cilindros hidráulicos, nota-se que a falta de assertividade para tomada de decisões é um ponto de bastante influência na ocorrência de falhas. O usuário deve se ater as condições operacionais e ter o conhecimento total sobre o modo e aplicação de cada ferramenta para o tipo de cenário encontrado.

A elaboração dos FMEAs compreendeu toda abordagem realizada sobre as falhas em equipamentos hidráulicos utilizados para manutenção industrial. Com o auxílio dessa ferramenta, espera-se que o usuário seja capaz de gerar uma análise dos efeitos que potenciais modos de falha podem ocasionar. É importante ressaltar que este tipo de equipamento trabalha com pressões acima de 10000 PSI e cargas superiores a 150 toneladas e, portanto, a falha de um equipamento deste pode ocasionar graves acidentes.

4.1 PLANO DE AÇÃO - PROPOSTA

Com a finalidade de reduzir ocorrência de falhas, aumentar a segurança operacional e disponibilidade de seus ativos e reduzir custos de manutenção, sugere-se a realização de um plano de ação, de forma que as atividades de manutenção sejam revistas, realizando as ações seguintes, conforme Tabela 4, a seguir:

Tabela 4 – Plano de Ação

Plano de ação - Bombas e cilindros hidráulicos		
Ação	Profissionais envolvidos	Periodicidade
Monitoramento de ações proativas para evitar contaminação do fluido hidráulico. Deve-se monitorar: <ul style="list-style-type: none"> ▪ O armazenamento de tambores de óleo hidráulico em local coberto e fresco, na posição vertical, com o tampão voltado para cima. ▪ A utilização de recipientes limpos na transferência do óleo hidráulico do tambor para o reservatório da bomba. ▪ Os cuidados com a higienização da região em volta do tampão e atentar-se para nenhuma impureza (sólida ou líquida) adentrar o tambor ou o reservatório hidráulico. 	Engenheiros, supervisores e equipe operacional	Diariamente

<ul style="list-style-type: none"> ▪ A periodicidade indicada pelo fabricante de substituição do óleo. ▪ Utilização de filtros apropriados. ▪ Inspeção de conexões que ficam expostas ao ambiente. 		
Realização de treinamentos teóricos e práticos sobre segurança e utilização de seus equipamentos	Engenheiros, supervisores e equipe operacional	1 vez ao mês
Realização de treinamentos teóricos e práticos sobre as boas práticas de manutenção	Engenheiros, supervisores e equipe operacional	1 vez ao mês
Supervisão das atividades em campo, para certificar que as boas práticas de operação	Engenheiros, supervisores e equipe operacional	Diariamente
Reanalisar o cronograma e planejamento de manutenção, avaliando os indicadores de desempenho	PCM, engenheiros e supervisores	Trimestral

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O plano de ação elaborado e apresentado na Tabela 4 evidencia a importância de ações proativas para a preservação dos equipamentos. Aconselha-se que o emprego dessas ações seja realizado de forma gradativa e com apoio de colaboradores da gerência da empresa, visando assim o não abandono dessas ações e as tornando práticas comuns no dia a dia no campo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, pode-se constatar que a importância de estudo que abordem os fatores que ocasionam falhas em equipamento hidráulicos já que, estes são de grande utilização para atividades de manutenção industrial e, são largamente utilizados em diversos setores.

A coleta e análise dos dados de falhas, assim como a construção da ferramenta FMEA foram fundamentais para a elaboração do plano de ação. Com a elaboração do FMEA, foi possível extrair os dados principais que afetam o equipamento e sistema e dessa forma, trazer de forma bastante hábil as soluções para os integrantes da equipe de manutenção.

Espera-se que resultado de sua aplicação seja: redução das atividades de manutenção corretiva; aumento da segurança operacional; aumento de disponibilidade dos ativos; redução do número de itens de sobressalentes; especialização de pessoas e motivação para trabalho em equipe. Além disso, o desenvolvimento do estudo quando aprofundado e expandido para avaliação de um

sistema macro onde equipamentos hidráulicos estão inseridos, poderá ser também submetido em outros conjuntos particulares onde possam ser devidamente acomodados.

Além disso, o desenvolvimento do estudo quando aprofundado e expandido para avaliação de um sistema macro onde equipamentos hidráulicos estão inseridos, poderá ser também submetido em outros conjuntos particulares onde possam ser devidamente acomodados.

REFERÊNCIAS

ENERPAC. **Bomba Manual Duas Velocidades**. Disponível em <<https://www.enerpac.com/pt-br/bombas-manuais-leves/bomba-manual-duas-velocidades/P392>> Acesso em 29 de junho de 2021.

ENERPAC. **Bomba Elétrica Alta Vazão**. Disponível em <<https://www.enerpac.com/pt-br/bomba-el%C3%A9trica-alta-vaz%C3%A3o/ZE4320MB>> Acesso em 29 de junho de 2021.

ENERPAC. **Cilindros de Uso Geral**. Disponível em <<https://www.enerpac.com/pt-br/cilindros-de-uso-geral/RC504>> Acesso em 29 de junho de 2021.

ENERPAC. **Separadores de Flange**. Disponível em <<https://www.enerpac.com/pt-br/separadores-de-flanges/separadores-hidr%C3%A1ulicos/FSH14>> Acesso em 29 de junho de 2021.

ENERPAC. **Tensionadores Para Parafusos Superiores**. Disponível em <<https://www.enerpac.com/pt-br/tensionadores-para-parafusos-superiores-s%C3%A9rie-gt/tensionadores-superiores-para-parafusos/GT1LCB>> Acesso em 29 de junho de 2021.

ENERPAC. **Cortadores de Porcas**. Disponível em <<https://www.enerpac.com/pt-br/cortadores-de-porcas/cortadores-hidr%C3%A1ulicos-de-porcas/NC1019>> Acesso em 29 de junho de 2021.

FOGLIATO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**, Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.

História da Roda D'água. < <https://museuweg.net/blog/historia-da-roda-dagua-e-sua-importancia-para-nosso-desenvolvimento>> Acesso em 30 de outubro de 2021.

MOREIRA, Ilo da Silva. **Sistemas hidráulicos industriais**. 2. ed. São Paulo: SENAI-SP, 2012.

MOUBRAY, John. **RCM II – Manutenção Centrada em Confiabilidade**, Edição brasileira. Traduzido por: Kleber Siqueira, Aladon Ltd. Inglaterra, 2000.

NBR 5462-1994, **Confiabilidade e manutenibilidade**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1994.

VEMAG. **Tipos de Contaminação em Sistemas Hidráulicos**. Disponível em <<https://www.vemag.com.br/novo/wp-content/uploads/2019/01/Tipos-de-Contamina%C3%A7%C3%A3o-em-Sistemas-Hidraulicos.pdf>> Acesso em 16 de maio de 2021.