



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Curso de Engenharia Mecânica

FABIO RAMALHO LEITE CHAVES

**Aplicação da Manutenção Centrada na
Confiabilidade para a Elaboração de uma
Estratégia de Manutenção do Sistema
Hidráulico da Retroscavadeira CAT 416D:
Um Estudo de Caso**

SÃO LUÍS/MA

2018

FABIO RAMALHO LEITE CHAVES

**Aplicação da Manutenção Centrada na
Confiabilidade para a Elaboração de uma
Estratégia de Manutenção do Sistema
Hidráulico da Retroscavadeira CAT 416D:
Um Estudo de Caso**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Giovanni Augusto Ferreira Dias

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO (A) ALUNO
(A) FABIO RAMALHO LEITE CHAVES, E ORIENTADA
PELO (A) PROF (A). MSC. GIOVANNI AUGUSTO
FERREIRA DIAS

.....
ASSINATURA DO ORIENTADOR.

**SÃO LUÍS/MA
2018**

Chaves, Fábio Ramalho Leite.

Aplicação da manutenção centrada na confiabilidade para a elaboração de uma estratégia de manutenção do sistema hidráulico da retroescavadeira CAT 416 D: um estudo de caso / Fábio Ramalho Leite Chaves. – São Luís, 2018.

103f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Me. Giovanni Augusto Ferreira Dias.

1. Manutenção. 2. Retroescavadeira. 3. MCC. 4. FMEA. I. Título.

CDU 658.581

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Aplicação da Manutenção Centrada na
Confiabilidade para a Elaboração de uma
Estratégia de Manutenção do Sistema
Hidráulico da Retroescavadeira CAT 416D:
Um Estudo de Caso**

Autor: Fabio Ramalho Leite Chaves

Orientador: Prof. Msc. Giovanni Augusto Ferreira Dias

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

**Prof. Msc. Giovanni Augusto Ferreira Dias,
Presidente
Universidade Estadual do Maranhão**

**Prof. Msc. Maria Amália Trindade Castro
Universidade Estadual do Maranhão**

**Prof. Fernando Antônio Moreira S. Abreu
Universidade Estadual do Maranhão**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno

São Luís/MA 25 de JUNHO de 2018.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais por sempre terem feito tudo por mim, e à minha avó pelo carinho e o apoio dado a mim.

Agradecimentos

Nenhum trabalho é realizado sozinho. E eu, particularmente, devo a muitas pessoas pela realização desta pesquisa. Pessoas que contribuíram de todas as formas para que eu pudesse chegar a este momento.

Meus agradecimentos ao Prof. Giovanni Dias, pela orientação, e principalmente pela paciência que teve comigo, nunca vou esquecer disso.

Aos engenheiros Diomedes Victor e Isaías Santos, por me apresentarem a um vasto mundo de conhecimento da engenharia, contribuindo para esta pesquisa. À Wanderson Alves, Jobetiane Gardênia, Margélio Vale, Eduardo Raiol e Chicão, pelo apoio e conhecimentos fornecidos que me ajudaram neste trabalho e vão me ajudar para a vida.

Aos meus amigos do GM, que sempre estiveram me apoiando, e sempre me deram força moral durante este trabalho e a vida.

Aos meus amigos de graduação, pelos momentos que compartilhamos, ao Pedro Diniz, vulgo “Rei Arthur”, e Danuey Petman, o “Papa”, e Natassia Pereira.

À Edeconsil Construções e Locações LTDA, pela oportunidade de poder cooperar e adquirir mais conhecimento.

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin

RESUMO

Esta pesquisa objetiva a aplicação das diretrizes em Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) no sistema hidráulico de uma determinada frota de retroscavadeiras Caterpillar 416D. Foi feito a estratificação do sistema, enfatizando seus subsistemas e suas respectivas funções, para que, através da metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), possa ser analisado e determinado os modos de falha do sistema. Com isso, há a utilização do procedimento do Número Prioritário de Risco (NPR) como ferramenta de definição da criticidade dos componentes, que por seguinte, serão apontadas as maiores criticidades dentro do sistema, para que ações de combate às suas falhas sejam designadas executando a elaboração de um plano de manutenção para o sistema hidráulico da máquina.

Palavras-Chaves: Manutenção; Retroscavadeira; MCC; FMEA.

ABSTRACT

This research aims to apply the Guidelines on Reliability Centered Maintenance (RCM) in the hydraulic system of a specific Caterpillar 416D backhoe loader. The stratification of the system was emphasized, emphasizing its subsystems and their respective functions, so that, through the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) methodology, the failure modes of the system can be analyzed and determined. Therefore, the Risk Priority Number (RPN) procedure is used as a tool to define the criticality of the components, which will then indicate the highest criticalities within the system, so that actions to combat its failures are designated by executing the preparation of a maintenance plan for the hydraulic system of the machine

Keywords: Maintenance; Backhoe Loader; RCM; FMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Demonstrativo da quantidade de falhas por equipamento.....	2
Figura 1.2 Demonstrativo das partes impactantes.....	3
Figura 1.3 Exibição dos tipos de retroescavadeiras afetadas no sistema hidráulico	3
Figura 2.1 Políticas de Manutenção.....	5
Figura 2.2 Evolução da Manutenção.....	12
Figura 2.3 Propagação da Falha	15
Figura 2.4 Diagrama de Decisão.....	17
Figura 2.5 Seleção de Atividades.....	18
Figura 2.6 Exemplo de estrutura de Investigação	22
Figura 2.7 Exemplo de planilha FMEA	27
Figura 2.8 Diagrama de Pareto.....	28
Figura 2.9 Esquematização do Diagrama de Causa e Efeito	29
Figura 3.1 Diagrama de Implementação da MCC	32
Figura 4.1 Diagrama em blocos das atuações hidráulicas 416D.....	36
Figura 4.2 Cilindro do estabilizador da 416D.....	37
Figura 4.3 Cilindro da Caçamba 416D	37
Figura 5.1 Demonstração do percentual de riscos elevados	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Planilha de seleção de tarefas.....	19
Quadro 2.2 Aplicabilidade e Efetividade da Manutenção	20
Quadro 2.3 Probabilidade de Ocorrência.....	24
Quadro 2.4 Probabilidade de detecção.....	24
Quadro 2.5 Severidade do FMEA.....	25
Quadro 4.1 Informações técnicas da 416D	38
Quadro 4.2 Subsistemas do sistema hidráulico da CAT 416D	39
Quadro 4.3 Proporção das ocorrências de falhas	41
Quadro 4.4 Classificações de detecção	42
Quadro 4.5 Índices de Severidade.....	42
Quadro 5.1 Itens com alta criticidade	45
Quadro 5.2 Seleção de atividades de manutenção	47
Quadro 5.3 Ações recomendadas de manutenção.....	49

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

CAT: Caterpillar

DFMEA: *Design Failure Mode and Effects Analysis*

ESC: Estrutura, Sistema ou Componente

FMEA: *Failure Mode and Effect Analysis*

MCC: Manutenção Centrada na Confiabilidade

NPR: Número de Prioridade de Risco

PCM: Planejamento de Controle da Manutenção

TPM: *Total Productive Maintenance*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo Geral	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
2 REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 Manutenção	5
2.1.1 História da Manutenção	6
2.2 Tipos de Manutenção	7
2.2.1 Manutenção Corretiva	7
2.2.2 Manutenção Preventiva	8
2.2.3 Manutenção Preditiva	8
2.2.4 Engenharia da Manutenção.....	9
2.2.5 Engenharia da Confiabilidade.....	10
2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade	10
2.3.1 Histórico do MCC.....	11
2.4 Implementação da MCC	12
2.4.1 Função do Sistema.....	13
2.4.2 Análise de Falhas	14
2.4.3 Modos de Falha.....	14
2.4.4 Efeitos das Falhas	15
2.4.5 Diagrama de Decisão e Seleção de Tarefas	16
2.4.6 Aplicabilidade e Efetividade da MCC	19
2.4.7 Periodicidade das Atividades.....	21

2.5 Procedimentos de Análises de Falhas	21
2.5.1 FMEA	22
2.6 Ferramentas de Análises de Falhas.....	27
2.6.1 Diagrama de Pareto.....	28
2.6.2 Diagrama de Ishikawa	29
2.6.3 Brainstorming	30
3 METODOLOGIA	31
4 ESTUDO DE CASO.....	35
4.1 Aplicação da MCC	35
4.1.1 Caracterização do sistema hidráulico e levantamento de dados	35
4.1.2 Função do sistema.....	39
4.1.3 Aplicação da FMEA	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 Análise das Criticidades.....	44
5.2 Seleção das atividades de Manutenção	45
5.3 Plano de Manutenção	46
6 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
APÊNDICE A	57

1 INTRODUÇÃO

Construções urbanas e serviços no ambiente rural estão diretamente ligados ao desenvolvimento de uma determinada região, pois esses eventos estão relacionados ao aprimoramento da infraestrutura e geração de recursos.

Historicamente, o progresso econômico acompanha as obras de âmbitos civil, pesada e bucólica, por conseguinte, a construção de portos, aeroportos, pontes, túneis, edificações para moradias e pavimentação chegam a ser ações marcantes em um determinado lugar, logo, expressando significativa importância.

Outro fator determinante, e, que também está em constante condução com o tempo, são as máquinas para a realização dos feitos citados anteriormente, onde seus alicerces eram constituídos principalmente pela força animal, evoluindo para complexos e avançados sistemas que estão em permanente progressão para a melhoria dos serviços realizados.

Construtoras e empresas que trabalham no ramo de fornecimento e locação de máquinas pesadas para obras, possuem uma boa parte de seus custos direcionados à manutenção destes equipamentos, sendo que a política deste procedimento deve ser severa nessa situação, garantindo um bom desempenho da máquina em trabalho.

De acordo com Junior (2011), a confiabilidade na manutenção no setor de máquinas pesadas vem deixando de ser algo diferencial e se tornando requisitos básicos para a competitividade no mercado, pois é um dos fatores determinantes que proporciona o bom desempenho da máquina em serviço, logo, garantindo produtividade.

O meio preventivo de manutenção ainda é o mais investido nesses maquinários pelos empresários da área, em razão de ser uma ação programada, que irá evitar uma parada não planejada durante a atividade, logo, prevenindo alguma queda de produtividade (COSTA, 2013).

Logo, muitos itens de um sistema não possui um modo dominante e peculiar de falha, e para eles, a prática da manutenção preventiva não é eficaz, pois afeta em pequena escala o nível de confiabilidade do conjunto, assim, influenciando no desempenho da máquina em relação à sua função, pelo intervalo de tempo estabelecido, sob as condições de uso (KARDEC, 2009).

De acordo com Braile (2013), foi possível fazer um estudo de falhas em equipamentos de costura de escala industrial utilizando a Manutenção Centrada na Confiabilidade e, com a mesma ferramenta, Rosa (2016) e Fernandes (2015), implementaram o sistema de manutenção na indústria automobilística e elaborou um plano de manutenção para retroescavadeiras, respectivamente

Diante das considerações comentadas anteriormente, o presente trabalho procura propor a melhoria de eficiência da frota de retroescavadeiras da empresa Edeconsil Construções e Locações Ltda., utilizando a metodologia MCC.

A empresa possui diversos tipos de equipamentos para serviços pesados, e pela necessidade da própria, foi-se analisado as paradas de selecionáveis grupos de equipamentos entre os anos 2015 a 2018, que, mesmo com diferentes quantidades em suas frotas, detêm, aproximadamente, as mesmas exigências em obras, com isso, viu-se que as retroescavadeiras possuem o maior índice de falha por unidade durante esse tempo, como mostra a figura 1.1.

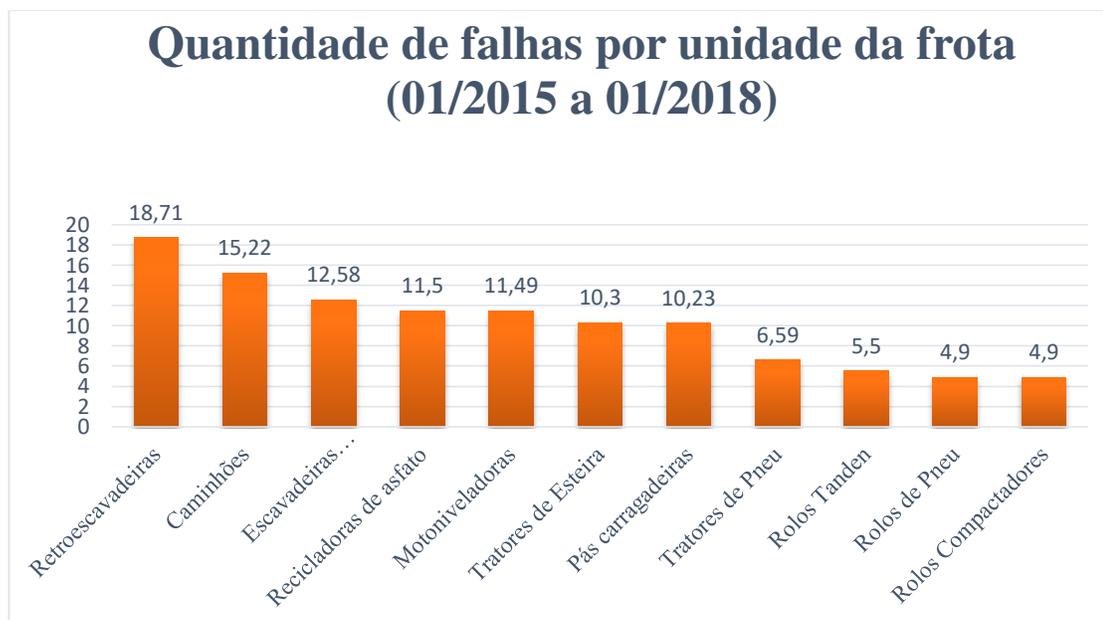


Figura 1.1 – Demonstrativo da quantidade de falhas por unidade de equipamento (AUTOR, 2018)

Com um número maior de paradas, significa que as retroescavadeiras terão menos produtividade levando em conta as mesmas condições de eficiência das demais máquinas.

Um conjunto robusto, como esta máquina, possui áreas complexas que devem ser analisadas com cautela, logo, foi feito a análise dos sistemas críticos, baseada em informações da empresa, como mostrado na figura 1.2, e destacando o sistema hidráulico como o mais impactante entre os principais motivos de parada. Enfatizando a principal causa das falhas, a figura 1.3 mostra o modelo do equipamento que mais sofre desta circunstância, evidenciando a retroescavadeira 416D da Caterpillar.

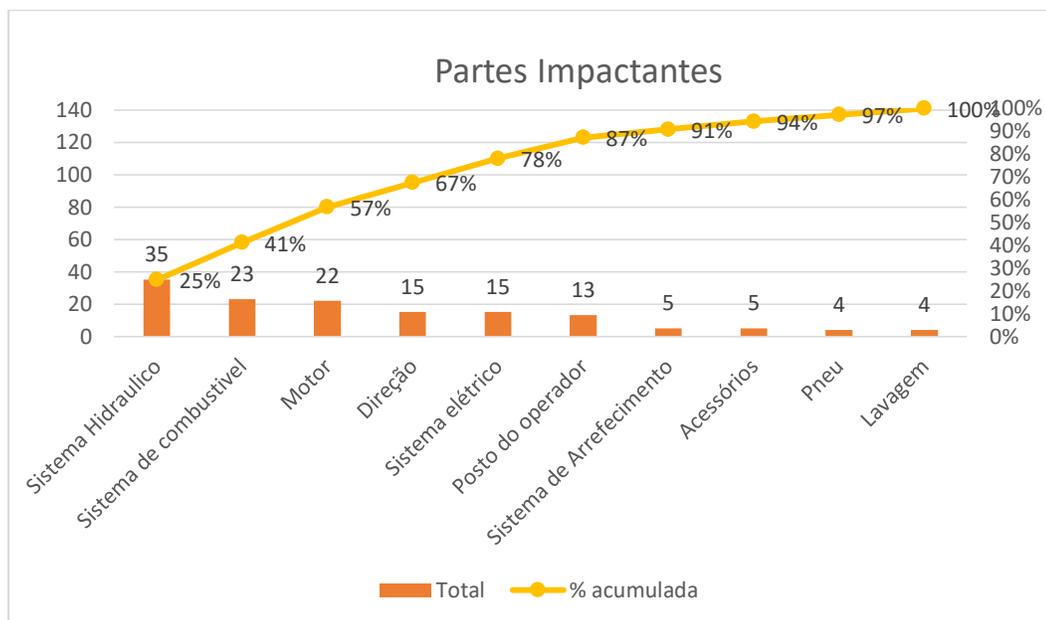


Figura 1.2 – Demonstrativo das partes impactantes (AUTOR, 2018)



Figura 1.3 – Exibição dos tipos de retroescavadeiras afetadas no sistema hidráulico (AUTOR, 2018)

Utilizando das ferramentas da MCC as partes do equipamento em questão serão descritos em relação à suas falhas, logo, medidas serão tomadas para a melhoria da confiabilidade do sistema e a formação de uma proposta de aperfeiçoamento do processo de manutenção.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Aplicar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade no sistema hidráulico das Caterpillar 416D de uma determinada frota.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Realizar o levantamento bibliográfico sobre o tema;
2. Diagnosticar o processo atual de manutenção do sistema hidráulico do tipo específico de retroscavadeira;
3. Decompor o sistema hidráulico em partes, enfatizando suas funções;
4. Utilizar a metodologia FMEA para análise dos modos de falha;
5. Propor medidas para a redução de falhas funcionais em pontos críticos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Manutenção

No âmbito industrial ou qualquer ofício de fabricação, necessita-se de modos que irão permitir o bom andamento da produção, sendo processos simples ou sofisticados, contudo, problemas relacionados a desgastes, quebras, fraturas e mais outros incidentes podem ser observados durante o processo (DE LA VEGA, 2017).

De acordo com Marques (2017), a manutenção representa estratégias para a determinação e avaliação da situação atual, bem como para a preservação e o restabelecimento da condição nominal das instalações, máquinas e componentes.

A política da manutenção dá-se por um grupo de regras, procedimentos e definições que são confabulados para operacionalizar a manutenção de forma a atender os principais interesses da empresa (CORRÊA, 2015).

Waeyenbergh (2005) fala que há 3 principais grupos de manutenção, e de acordo com a figura 2.1 ele relaciona as políticas com suas respectivas ações.

POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO		
Grupo	Base da Política de Manutenção	Ação da Manutenção
Manutenção Corretiva	Manutenção Baseada na Falha	Reparar
Manutenção Preventiva	Manutenção Baseada no Uso	Inspecionar
	Manutenção Baseada no Tempo	Reparar
	Manutenção Baseada no Projeto	Substituir
Manutenção Preditiva	Manutenção Baseada na Detecção	Inspecionar
	manutenção Baseada na Condição	Inspecionar

Figura 2.1 – Políticas de manutenção (WAEYENBERGH, 2005)

Há várias definições e concepções relacionados à manutenção, geralmente, a maioria enfatiza as características preventivas, conservativas e corretivas da atividade, mas é

interessante observar a mudança, mais recente, que inclui nas definições os aspectos humanos, de custos e de confiabilidade da função da manutenção, como consequência do aumento da importância e responsabilidade do setor dentro das organizações (COSTA, 2013).

2.1.1 História da Manutenção

Kardec (2009) considera a divisão da evolução da manutenção em 3 gerações:

- Primeira Geração: Nos anos de 1930, antes da Segunda Guerra Mundial, a manutenção era, fundamentalmente, de aspectos corretivos, com a execução apenas de serviços como lubrificação, limpeza e reparo após falha. A pouca mecanização das indústrias da época aliado à conjuntura econômica da mesma, fizeram com que essa fase possuísse essas características.
- Segunda Geração: Esta fase ocorreu da Segunda Guerra Mundial aos anos 60. E segundo Xavier (2015), houve a necessidade de a manutenção dar um passo à frente devido a eventos históricos que influenciaram em produtos e na mão – de – obra industrial, destacando a área da aviação. Logo, surgiram os conceitos preventivos, onde consistiu em intervenções dos equipamentos realizados com periodicidade.
- Terceira Geração: A datar pelos anos de 1960, a utilização de computadores e processadores concederam informações importantes sobre potenciais falhas que um equipamento poderia ter. Tal avanço foi estimulado pelos malefícios que uma longa parada de produção poderia acarretar, pensando assim em um modo de usufruir ao máximo do equipamento sem comprometer fatalmente sua vida útil, conceitos da manutenção preditiva. E nas décadas seguintes vários outros conceitos acompanharam os avanços tecnológicos, como o TPM, e a confiabilidade com a MCC.

2.2 Tipos de Manutenção

2.2.1 Manutenção Corretiva

Manutenção corretiva ou emergencial, ocorre quando equipamentos, máquinas e instalações operam até a falha e, posteriormente, é realizado somente o trabalho de correção em cima do motivo de parada. Várias empresas têm esta política de manutenção como a principal. Em serviços terceirizados, este tipo de procedimento corretivo é predominante dos ambientes fabris (SELEME, 2015).

De acordo com Filho (2008), a manutenção corretiva pode atuar na reparação, recuperação, reconstrução e revisão do sistema. E a aplicação deste procedimento é comumente em partes do sistema com pouca importância, ou apenas a troca sem afetar o mesmo. A manutenção corretiva é dividida fundamentalmente em programada e não programada.

A manutenção corretiva programada tem maior visualização em processos preditivo, de detecção e decisões gerenciais quando se percebe a necessidade da realização da mesma, porém, o equipamento voltará à ativa até a falha. E devido ao seu planejamento, a corretiva programada tende a ter um menor custo em relação a não programada (DIAS, 2011).

A manutenção corretiva não programada é a mais praticada, e trata-se da correção da falha e tentar colocar o equipamento de volta ao trabalho de maneira arbitrária, sem nenhum preparo ou programação. E geralmente esse mecanismo ocasiona altos custos, pois há a parada inesperada da produção.

O fato de uma empresa ter a política da manutenção corretiva como padrão pode ter custos elevados, pois executar o reparo apenas quando há falha pode causar danos a outros itens e diminuir a disponibilidade do sistema (SOUZA, 2008).

2.2.2 Manutenção Preventiva

De acordo com Kardec (2009) a manutenção preventiva é a operação realizada com o intuito de reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, seguindo um plano previamente implementado, baseado em intervalos definidos de tempo.

Para a NBR 5674:2012, a manutenção preventiva é caracterizada por ações programadas com considerável antecedência, priorizando as solicitações do usuário, estimativas da durabilidade esperada dos sistemas, elementos ou componentes das edificações em uso, gravidade e urgência, e relatórios de verificações periódicas sobre o seu estado de degradação.

A manutenção preventiva deve ser o principal tipo do procedimento em uma empresa. Deve ser feito regularmente e tem o objetivo de manter o sistema com a melhor eficiência possível.

De acordo com Viana (2002), o plano de manutenção preventiva se dá por detalhamento de tarefas, logo, precisa-se estudar o equipamento a ser manipulado para conhecer os principais pontos de falhas, poder tomar ações preventivas.

2.2.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma filosofia ou posicionamento que utiliza a condição operacional real de equipamentos e sistemas para a operação total. O objetivo deste tipo de procedimento é precaver falhas nas máquinas ou processos através de acompanhamento de diversos parâmetros, assim quando o grau de desolação se aproxime ou alcança o limite estabelecido para a variável monitorada, é tomada a decisão de intervenção. Normalmente esse tipo de assistência permite a preparação antecipada do serviço, além de outras decisões e alternativas. Trata-se de um meio de se melhorar o desempenho da incumbência, reduzir os prazos e custos de manutenção e prever falhas com maior antecedência (VILLANUEVA, 2015).

De acordo com Caldas (2015), dependendo das características do equipamento, pode haver dificuldade ao aplicar este tipo de manutenção, porém, havendo êxito na aplicação, esta estratégia pode ser a que se mostre menos custosa. Por um lado, como as falhas passam a ocorrer com menos frequência, são utilizados menos recursos e menos tempo para o reparo do sistema, logo, o mesmo ficará menos improdutivo. Entretanto, realizando as interferências de manutenção apenas quando o estado da máquina o justificar, as intervenções serão reduzidas, implicando na redução de custo.

2.2.4 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção está reformulando conceitos da área em que atua. Utiliza procedimentos de análises para a maior extensão da vida útil do sistema, com foco em melhorar continuamente.

De acordo com Dias (2011), a Engenharia de Manutenção é caracterizada como um grupo de atividades que objetivam a melhoria do processo, detectando desvios existentes no sistema e recomendando a utilização de novas tecnologias para a garantia do aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

Nascif e Dorigo (2015) falam que a Engenharia de Manutenção é uma mudança cultural necessária, que busca a melhoria de resultados e significa:

- Praticar a análise de falhas, atuando nas causas básicas;
- Atuar efetivamente em materiais e sobressalentes;
- Desenvolver procedimentos de trabalho;
- Treinamento de padronização;
- Projetos de novas obras e melhorias.

2.2.5 Engenharia de Confiabilidade

Entende-se por confiabilidade a possibilidade de um item, seja ele um sistema ou uma peça, ser elaborado de acordo com o seu projeto, funcionar durante um tempo determinado sem apresentar falhas (SELEME, 2015).

Devido ao surgimento de alternativas para equipamentos, durante as últimas décadas, o conceito citado anteriormente vem sido adotado para a obtenção do diferencial de serviço com foco no aumento da qualidade e redução de custos.

De acordo com Kardec (2009), a confiabilidade se baseia em quatro conceitos frequentes: a probabilidade de tempo encontrada entre a relação de casos favoráveis e casos possíveis, a função requerida do sistema, as condições de operação em que o equipamento está sendo submetido e o intervalo de tempo que vai influenciar diretamente no primeiro conceito.

Frequentemente qualidade e confiabilidade têm suas definições emaranhadas, porém, a principal diferença entre esses dois pensamentos é o tempo, onde a primeira está diretamente ligada ao período, e a segunda é tratada de forma inerte, o que explica dois produtos de qualidades iguais em situações de exigências diferentes (FOGLIATTO, 2011).

2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade

O mundo globalizado levou à grandes possibilidades de crescimento do ambiente industrial, ocasionando também a busca pela melhor oferta, implicando na competitiva busca pela melhor qualidade possível dos produtos, aliando preço e inovação para poder se manter no mercado. Em busca desta competitividade é preciso não só oferecer os melhores produto e preço, o lucro também é importante, e a manutenção tem o papel importante para a obtenção deste quesito, evitando as paradas não programadas e o prejuízo com a produção (MARQUES, 2014).

De acordo com Marques (2017), a Manutenção Centrada na Confiabilidade possui um serviço de manutenção executado de forma proveitosa, gerando uma confiabilidade nos seus realizadores. A MCC é dada por uma organização arquitetada, visando as melhores estratégias de manutenção nos processos ou equipamentos, garantindo a confiabilidade, segurança e redução de custos em serviço.

A MCC representa um procedimento adotado para determinar os padrões de manutenção de qualquer sistema físico em operação, onde ela, irá estudar os modos de falha de cada elemento e criar meios para impedir essas falhas, tornando este processo uma ferramenta fundamental em tomadas de decisões e nas diretrizes da manutenção de um regime industrial (VIANA, 2002).

Conforme Moubray (1997), a abordagem clássica da Manutenção Centrada na Confiabilidade engloba alguns requisitos:

- Seleção do sistema;
- Definições de funções e parâmetros de funcionamento;
- Determinação das falhas funcionais e condições de trabalho;
- Análise dos modos e efeitos das falhas;
- Dossiê de manutenção e documentos técnicos;
- Definição de meios de manutenção.

2.3.1 Histórico do MCC

Durante as 3 gerações da manutenção industrial, foi notório a necessidade de maior disponibilidade do sistema e máquinas, maior confiabilidade do processo, menores custos e maiores lucros. Logo, com o avanço tecnológico, todos esses requisitos tiveram melhoras gradativas, fazendo a moldagem e, posteriormente, a consolidação da MCC.

Foi falado por Brusius Jr. (2016) que alguns pesquisadores já declaram a Quarta Geração da manutenção, onde se tem a visão de gestão de ativos, incluindo conceitos de análises de risco e estatísticas. A figura 2.2 demonstra as fases da manutenção.

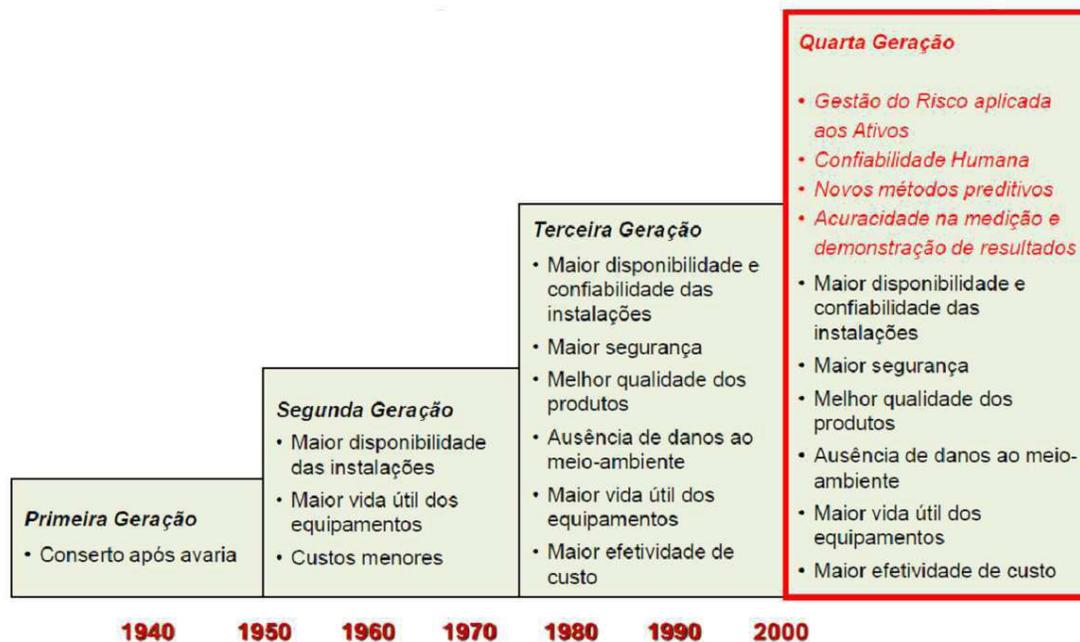


Figura 2.2 – Evolução da Manutenção (QUINTELLA, 2016)

A Quarta Geração da manutenção é exposta como a fase que evita ou elimina a possibilidade de ocorrências de falhas funcionais, e não mais preveni-las ou prevê-las, junto ao aperfeiçoamento de técnicas preditivas e auxiliares de análises de risco e tomadas de decisões. Nessa geração, a confiabilidade e a manutenibilidade são mais determinantes nos ESC's ainda em projeto com a execução de análises de falhas através do FMEA ou DFMEA. Também a criação de grupos de trabalho de todo os níveis hierárquicos da empresa, para o planejamento de melhorias em metodologias (QUINTELLA, 2016).

2.4 Implementação da MCC

Para Souza (2016), a implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade é regida por perguntas selecionadas, são elas:

- Qual a atividade do sistema ou equipamento, o que ele faz?
- A quais falhas funcionais ele está sujeito?
- Quais as implicações dessas falhas?
- Que medidas podem ser tomadas para reduzir, prevenir e identificar o surgimento da falha, ou amenizar suas consequências?

A MCC dispõe de um curso estruturado composto por sete estágios: Seleção do sistema e Coleta de informações; Análise do modo de falhas e efeitos; Seleção de Funções Significantes; Seleção de atividades aplicáveis; Avaliação da efetividade das atividades; Seleção das atividades aplicáveis e efetivas; Definição da periodicidade das atividades (SIQUEIRA, 2014).

2.4.1 Função do Sistema

De acordo com Moubray (1997) a definição de uma função deve se respaldar de um verbo, um objeto o padrão desejado de desempenho, e as funções podem ser divididas em principais e secundárias, onde o processo de manutenção centrada na confiabilidade deve ser sempre iniciado pelas primeiras. As principais funções de um sistema estão diretamente ligadas ao motivo pelo qual o mesmo foi obtido.

Costa (2016) fala que o principal objetivo da manutenção é a garantia das mínimas condições para a realização das funções principais do sistema, considerando que o mesmo também realiza funções secundárias, onde tais são divididas em:

- Integridade Ambiental;
- Controle;
- Aparência;
- Segurança Estrutural;
- Conforto;
- Economia e Eficiência;

- Supérfluas.

As falhas durante as funções secundárias não podem influenciar nas funções principais da máquina, logo, tem-se a avaliação dessas atividades auxiliares.

2.4.2 Análise de Falhas

Segundo Garrido (2017), a análise de falha é um método lógico e bem planejado, que permite o analista pressintir futuras falhas, sugerindo medidas retificadoras e seleção de materiais ou projetos apropriados para a sua aplicação.

Alguns questionamentos são importantes para o processo de análise de falhas:

- O problema é real?;
- Qual a frequência da ocorrência?;
- A falha ocorre abruptamente ou gradualmente?;
- Apenas em um item específico ocorre falha?;
- A falha iniciou após alguma mudança (projeto, material...)?

2.4.3 Modo de Falha

Fenômenos que se associam à perda parcial ou total do desempenho de uma máquina são chamados de modos de falhas, sua descrição se dá por um substantivo e um verbo, e suas identificações em um sistema é uma etapa crucial para o planejamento de ações que objetivam a garantia do ativo, em relação a execução de suas funções, podendo prevenir e detectar a ocorrência dessas imperfeições (PAIVA, 2015).

Os modos de falha estão diretamente relacionados ao evento físico que altera as características normais de funcionamento do ativo, logo, estes modos vão relatar a realização das falhas funcionais, ou seja, como e o que pode falhar.

2.4.4 Efeitos das Falhas

O impacto que o modo de falha traz à função da máquina é chamado de efeito, ou seja, a maneira como os modos de falha vão atingir o desempenho do ativo em relação à produção.

Souza (2016) diz que deve ter cuidado de não confundir os conceitos de “efeito”, “consequência” e “sintoma”. Na figura 2.3 dá-se o exemplo de um helicóptero, onde a falha na bomba central afetou o helicóptero em relação à sua função.

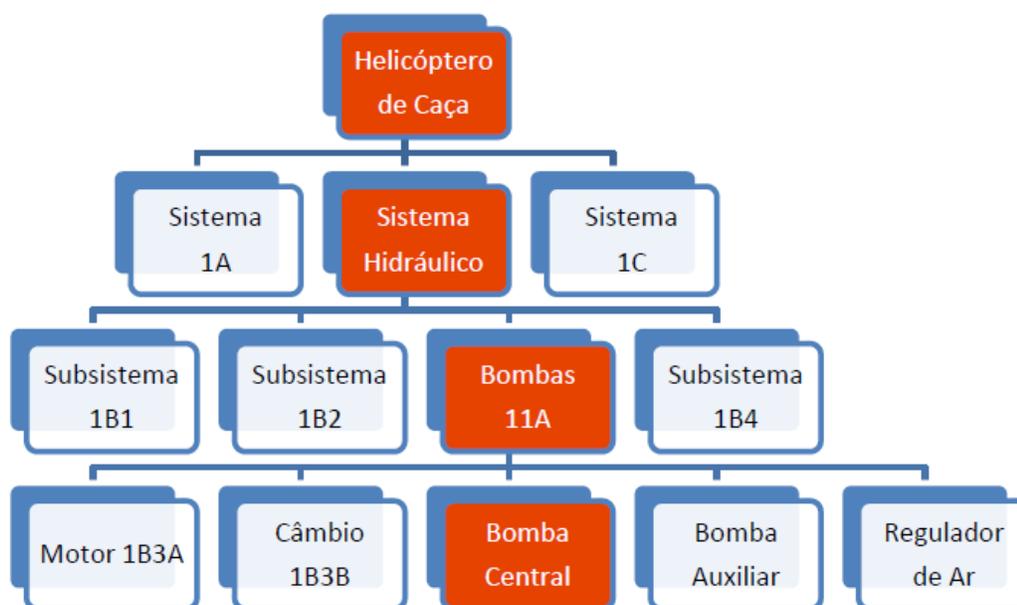


Figura 2.3 – Propagação da falha (SIQUEIRA, 2014)

2.4.5 Diagramas de Decisão e Seleção de Tarefas

De acordo com Nunes (2001), existe a carência de organizações rígidas em relação às tomadas de decisões nas empresas, mesmo com vários métodos que podem se aplicar a qualquer interesse desejado. Estes métodos de análises e decisões seguem duas categorias:

- I. Usados para formular e construir as possibilidades de decisões;
- II. Métodos que selecionam as melhores decisões.

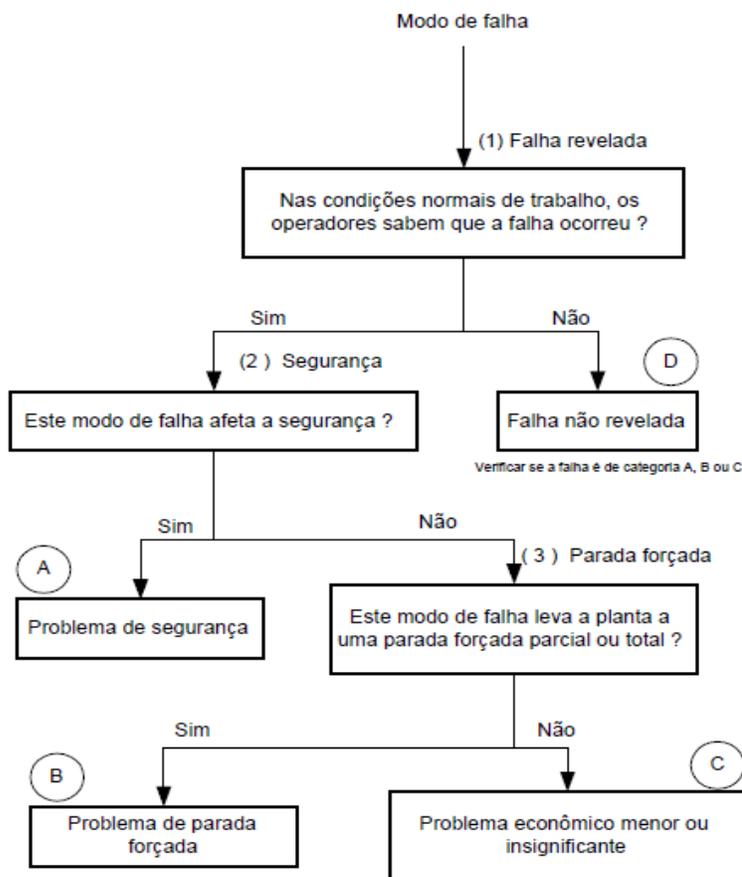
Para Ribeiro (2015) duas metodologias são mais sugeridas em relação a decisões em relação à manutenção, o de Moubray (1997) e o de Smith (1992). O primeiro possui um alto grau de detalhamento, enquanto o segundo, mesmo com mais simplicidade, já atende os objetivos da aplicação da MCC.

Segundo Fleming (1997) e Costa (2016), vários projetos aplicaram a metodologia de confiabilidade com sucesso através do diagrama proposto por Smith (1992), apresentados nas figuras 2.4 e 2.5. A primeira parte do processo trata-se dos modos de falha, onde as perguntas vão definir os tipos de falha e considerando alguns aspectos, como:

- Evidência (E): a percepção do operador em relação à falha;
- Aspectos de Segurança (S): se a falha afeta na segurança do operador ou local de trabalho;
- Continuidade da Funcionalidade (O): mesmo com a falha a máquina ainda pode rodar;
- Classificação da Falha (F): determinação de acordo com a legenda da figura 2.4.

Na segunda etapa desta análise, sete perguntas podem ser feitas de acordo com as conclusões da primeira, determinando o caráter dos procedimentos e explicitando as falhas ocultas, como mostrado na legenda da figura 2.5.

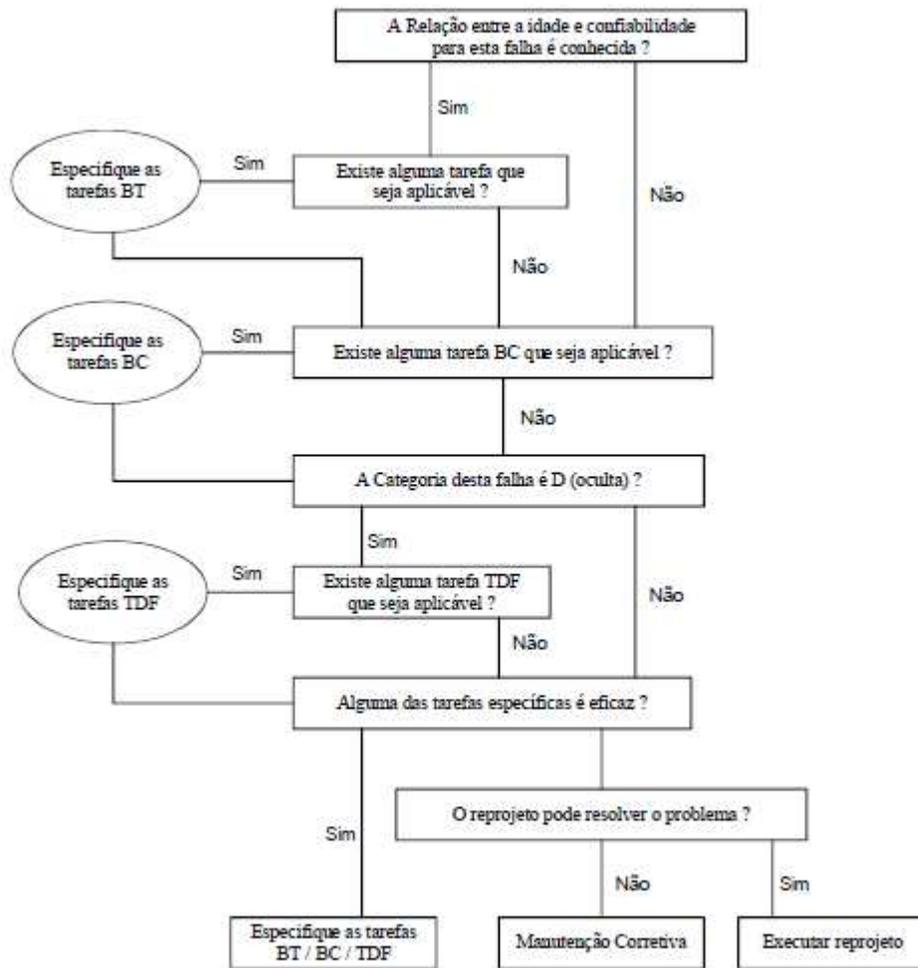
Para a análise, é criada uma planilha com a representação dos principais aspectos e a enumeração das sete perguntas, onde será respondido ‘sim’ ou ‘não’ para as perguntas e a classificação das falhas conforme legenda. O modelo pode ser visto no Quadro 2.1.



LEGENDA

- A - Falha relacionada à Segurança ou Meio Ambiente
- B - Falha Operacional
- C - Falha relacionada à aspectos econômicos
- D - Falha Oculta

Figuras 2.4 – Diagrama de Decisão (SMITH, 1992)



LEGENDA

BT - manutenção baseada no tempo

BC - manutenção baseada na condição

TDF - tarefa de busca de falha

MC - manutenção corretiva

E os modos de falha.

A - falhas com consequências para a segurança ou meio ambiente

B - falhas com consequências operacionais

C - falhas com consequências econômicas

ou D/A, D/B, D/C se a falha for oculta com as respectivas consequências.

Figura 2.5 – Seleção de atividades (SMITH, 1992)

Quadro 2.1 – Planilha de seleção de tarefas (NUNES, 2001)

Seleção das Atividades															
COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	F	1	2	3	4	5	6	7	ATIVIDADE	FREQUÊNCIA

2.4.6 Aplicabilidade e Efetividade da MCC

De acordo com Siqueira (2014), a atividade de manutenção é aplicável quando assiste de forma ideal o processo, ou seja, quando se tem êxito em relação a análise de progressão da falha, na descoberta de falhas ocultas, prevenção dos modos de falhas e reparo após o defeito.

De acordo com Nascimento (2014), as atividades de manutenção podem ser programadas e não programadas. As programadas se direcionam por:

- ✓ Tempo: prevenção da falha;
- ✓ Condição: preditivas;
- ✓ Falhas: descoberta de falhas ocultas;
- ✓ Operação: mão de obra.

As não programadas se definem em:

- ✓ Correção de Defeitos: detecção de uma potencial falha através de condições ou dados;
- ✓ Correção de Falhas: procedimentos corretivos após a falha do equipamento.

Com estes dois conceitos de atividades citados anteriormente, as mesmas podem ser classificadas em:

- A. Inspeção Preditiva: inspeção programada com o intuito de detecção de falhas;
- B. Reparo Preventivo: procedimento corretivo de forma programada;
- C. Substituição Preventiva: ações programadas para equipamentos com vida útil definida;
- D. Serviço Operacional: mudança da funcionalidade do sistema;
- E. Detecção de Falhas: identificação de falhas funcionais ocultas.

Cada atividade é potencialmente avaliada em relação às suas eficácia e viabilidade. Os principais critérios de avaliação são o econômico, segurança e operacional. E de acordo com as análises de decisão para as atividades, pode-se analisar a conduta das mesmas a partir da aplicabilidade, tendo assim, informações de efetividade, como mostrada no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Aplicabilidade e Efetividade da Manutenção (BARAN, 2011)

Tarefa	Aplicabilidade	Efetividade		
		Segurança	Operacional	Econômico
Serviço Operacional	Deve reduzir a taxa de deterioração funcional	Reduzir o risco de falha	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Possuir custo reduzido
Detecção de Falhas	Possibilidade de identificar falhas e defeitos ocultos em operação	Detectar falhas ocultas reduzindo risco de falhas múltiplas	Geralmente não recomendado. Tarefa deve detectar falhas ocultas e possuir custo reduzido	Detectar falhas ocultas evitando efeitos econômicos e possuir custo reduzido
Inspeção Preditiva	Possibilidade de identificar falhas e defeitos ocultos em operação defeitos por teste ou inspeção. Intervalo PF adequado.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Reparo Preventivo	O item apresenta uma idade definida (de preferência um visível) no qual há um aumento da probabilidade condicional do modo de falha em consideração, sendo que a restauração previne a ocorrência do modo de falha a um nível aceitável para o usuário do sistema	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Substituição Preventiva	O item apresenta uma idade definida (de preferência um visível) no qual há um aumento da probabilidade condicional do modo de falha em consideração e o reparo preventivo não é viável (razões de segurança, técnicas, econômicas)	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Combinação das técnicas	Nenhuma atividade anterior consegue identificar ou corrigir a falha de maneira isolada, sendo necessária uma combinação de tarefas.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Reprojeto	Nenhuma atividade anterior consegue identificar ou corrigir a falha de maneira isolada.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura.	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Combinação de tarefas possui custo superior ao da falha

2.4.7 Periodicidade das Atividades

A probabilidade de falha varia com o tempo, logo, a confiabilidade também irá mudar. Um intervalo de tempo é considerado fundamental já que itens apresentam confiabilidade de 95% para 6000 horas, por exemplo, são melhores de itens para mesma confiabilidade para intervalo de tempo inferiores (KARDEC, 2009).

Para Souza (2016), uma análise deve ser efetuada em todo o processo físico e materiais e suas mudanças ao longo do tempo, pois elas vão afetar diretamente os modos de falha, onde se realizam análises estatísticas.

Não existe metodologia peculiar para a periodicidade das atividades da manutenção, a própria empresa deve definir o modelo que mais se identifica ao seu processo (SIQUEIRA, 2014).

2.5 Procedimentos de Análises de Falhas

Cada vez mais se torna necessário a adesão de procedimentos para diminuir, ou até mesmo extinguir situações de falhas e defeitos de equipamentos, que podem gerar prejuízo financeiro, e até mesmo prejuízo físico para o colaborador que está envolvido na manipulação do sistema (QUINTELLA, 2016).

Para Seleme (2015), a análise de falhas em um sistema é uma metodologia que precisa ter a divisão do mesmo em unidades de gerenciamento, logo, deve-se definir o nível de detalhamento da análise para poder estratificar o sistema de forma compatível, e isso será ditado pelo objetivo da investigação. A figura 2.6 exemplifica um modelo de estruturação para análises de falhas.

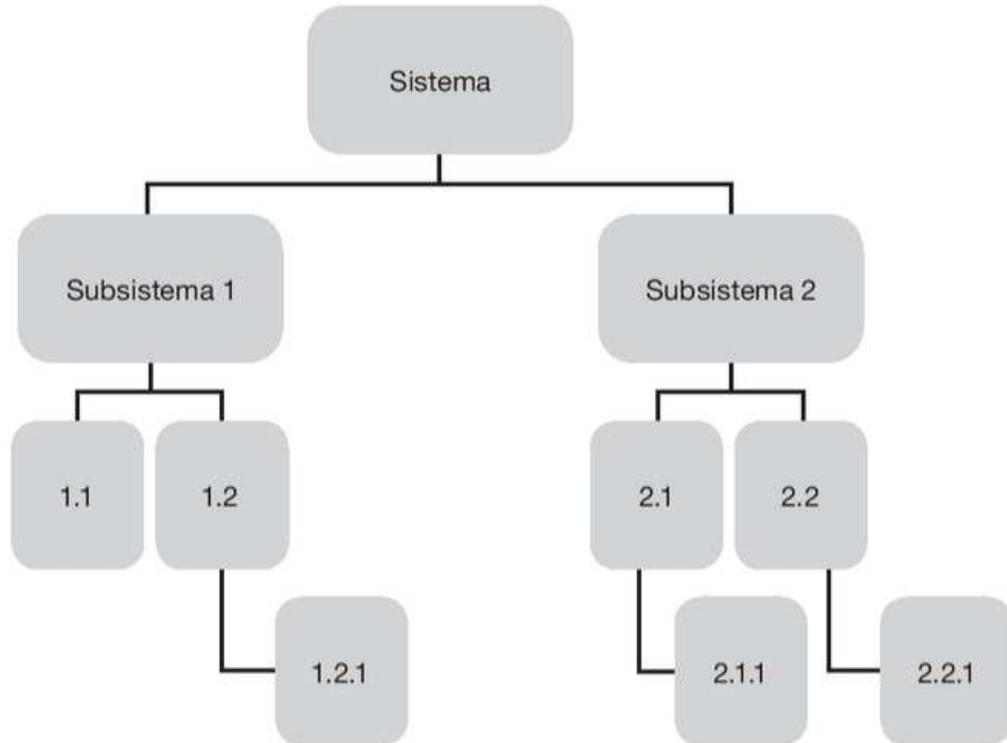


Figura 2.6 – Exemplo de estrutura de investigação (SELEME, 2015)

2.5.1 FMEA

Definida como uma técnica, a FMEA é considerada como ferramenta para estabelecer parâmetros de busca pelo desenvolvimento em uma sequência lógica (VIEIRA, 2017). Desenvolvido pelo exército norte-americano, o Failure Mode & Effect Analysis, FMEA, é um procedimento para desempenhar um modo de falha, seus efeitos e análise da sua criticidade, e usado como técnica para avaliar a confiabilidade e os efeitos das falhas em uma máquina, logo, com a utilização do FMEA há a diminuição da possibilidade de falha do processo e o aumento da sua confiabilidade (KARDEC, 2009).

Garrido (2017) fala que é possível encontrar quatro tipos de FMEA, com possibilidades de utilização na manutenção:

- FMEA de produto ou de projeto: utiliza os parâmetros de projeto para analisar as falhas do produto;
- FMEA de processo: analisa as falhas durante o processo;
- FMEA de serviço: prevenção de falhas durante a execução de um serviço;
- FMEA de sistema: analisa as falhas de um produto de acordo com o seu design.

Esta técnica que diagnóstica processos e produtos, e revela seus pontos fracos, engloba objetivos de distinção e avaliação de falhas, reconhecer ações de bloqueio dessas falhas e documentar o estudo. Logo, segundo Garrido (2017), para auxiliar no alcance destes propósitos, seis fases são estabelecidas para essa metodologia:

- Definição do sistema: Uma demonstração do objeto de estudo do FMEA, geralmente fazendo a divisão do mesmo em grupos ou blocos. Para Moubray (1997), não existe total fidelidade à execução desta primeira etapa, sendo que o responsável por este estudo deve desenvolver a melhor metodologia para o seu caso.
- Determinação de regras básicas: Definir as condições operantes do sistema, baseadas em informações técnicas, evidenciando o que seria uma possível falha do processo.
- Caracterizar o sistema e suas funcionalidades: Estratificação e demonstração em blocos do sistema em subgrupos, enfatizando a descrição de suas funções.
- Identificar os modos de falha e seus efeitos: Como falado anteriormente, os modos de falha são os meios de como as falhas são descritas, prejudicando na função de um determinado item. Logo, a identificação destes modos significa descobrir por quais maneiras o componente apresenta o defeito. Tendo o levantamento dos modos de falha, pode ser definido os impactos que eles causam na funcionalidade do sistema, os efeitos.
- Verificação da criticidade: Nesta etapa haverá a utilização da técnica do Número de Prioridade de Risco, o NPR, que será o resultado do produto de três fatores: Ocorrência (O), Detecção (D) e Severidade (S). Ambas possuem classificações em graus. Como mostrada no Quadro 2.1, a ocorrência é a

probabilidade da sucessão de alguma causa de falha. Já a detecção, Quadro 2.2, é a chance de uma determinada falha ser detectada. E a severidade é quão desagradável um certo efeito de um modo de falha, demonstrada no Quadro 2.3. Logo, o NPR calcula-se:

$$\text{NPR} = \text{Ocorrência} \times \text{Detecção} \times \text{Severidade}$$

Quadro 2.3 – Probabilidade de ocorrência (AIAG, 2008)

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

Quadro 2.4 – Probabilidade de detecção (MOURA, 2000)

Detecção	Critério (Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto/Processo)	Índice de Detecção
Quase Impossível	Não é conhecido controle disponível para detectar o modo de falha.	10
Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	9

Remota	Probabilidade remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controle atual quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controles de detecção é conhecida em processos similares.	1

Quadro 2.5 –Severidade do FMEA (AIAG, 2008)

Severidade	Critério		Índice
	Efeitos para os clientes	Efeito para manufatura	
Perigoso sem avisos	Quando um efeito do modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo.	Pode colocar o operador em risco sem avisos.	10
Perigoso com aviso	Quando um efeito do modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo.	Pode colocar o operador em risco com avisos.	9

Muito alta	Sistema inoperável (parada da função primária)	100% do produto possivelmente deverá ser jogado fora, ou reparado no departamento com um tempo maior que 1 hora.	8
Alta	Sistema operável, porém em um nível de performance reduzido.	O produto deverá ser desmontado e classificado e uma porção dele jogada fora ou produto deverá ser reparado no departamento com um tempo entre 0,5 e 1 hora.	7
Moderada	Sistema operável, porém, com itens de conforto/conveniência inoperáveis. Cliente insatisfeito.	Uma porção do produto deverá ser jogada fora sem necessidade de desmontá-lo e classificá-lo ou produto deverá ser reparado no departamento com um tempo menos de 0,5 hora.	6

- Documentar a análise: A documentação se dá pela elaboração e preenchimento da peculiar planilha do FMEA, que irá conter todos os dados analisados nas etapas anteriores, como mostrado na figura 2.7.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DAS FALHAS FMEA de Projeto () de Processo ()												FMEA N°:				
												Página: de				
Projeto/ Processo:			Nome/Código do Produto: Máquina/Operação:				Data Início:		Data Limite:							
Preparado por:			Respons. Projeto/ Processo:				Revisão/ Data:		Aprovação da Gerência:							
Equipe:																
Desenvolvimento	Item/ Etapa	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade	Causa da falha	Ocorrência	Controles atuais	Deteção Risco (NPR)	Ações recomendadas	Respons/ Prazo	Ação tomada	Resultado			
													Severidade	Ocorrência	Deteção	Risco (NPR)

Figura 2.7 – Exemplo de planilha FMEA (NUNES, 2001)

A FMEA vai precisar de um planejamento antecipado para êxito do processo. E a aplicação pode ser dividida em duas grandes partes: Planejamento e Análise ou Aplicação. No planejamento, os objetivos e as funções serão definidos junto à formação da equipe de execução do processo. Na análise ou aplicação vai haver a identificação e priorização das falhas potenciais, apuração e execução das ações corretivas, observação e aprendizagem e a documentação de todo o processo.

A metodologia FMEA é muito bem estruturada quando se fala em identificação dos tipos de falha de um ativo, e torna-se confiável para avalia-lo. Com conceitos e aplicações fáceis de assimilar, principiantes tem capacidade para analisar um complexo sistema. Essa ferramenta é muito utilizada em empresas e organizações, logo, a partir da regra geral básica falada anteriormente, existem variações para adaptações em softwares, por exemplo (DALOSTO, 2015).

2.6 Ferramentas de Análises de Falhas

2.6.1 Diagrama de Pareto

A análise de Pareto tem esse nome devido ao economista Vilfredo Pareto (1848-1923), que demonstrou o acúmulo de riqueza para uma certa quantidade da população de algumas economias. De forma mais precisa, ele exibiu que apenas 20% da população de várias economias obtém 80% das riquezas, onde a maior parte da população tenha uma pequena quantidade das riquezas.

Este diagrama propõe a existência de elementos críticos, que serão prioridades em análises. Com frequente uso na engenharia, este diagrama pode utilizar a curva ABC em várias aplicações (PALADINI, 2012).

A figura 2.8 mostra um exemplo de análise crítica de Pareto, com o critério de 80%.

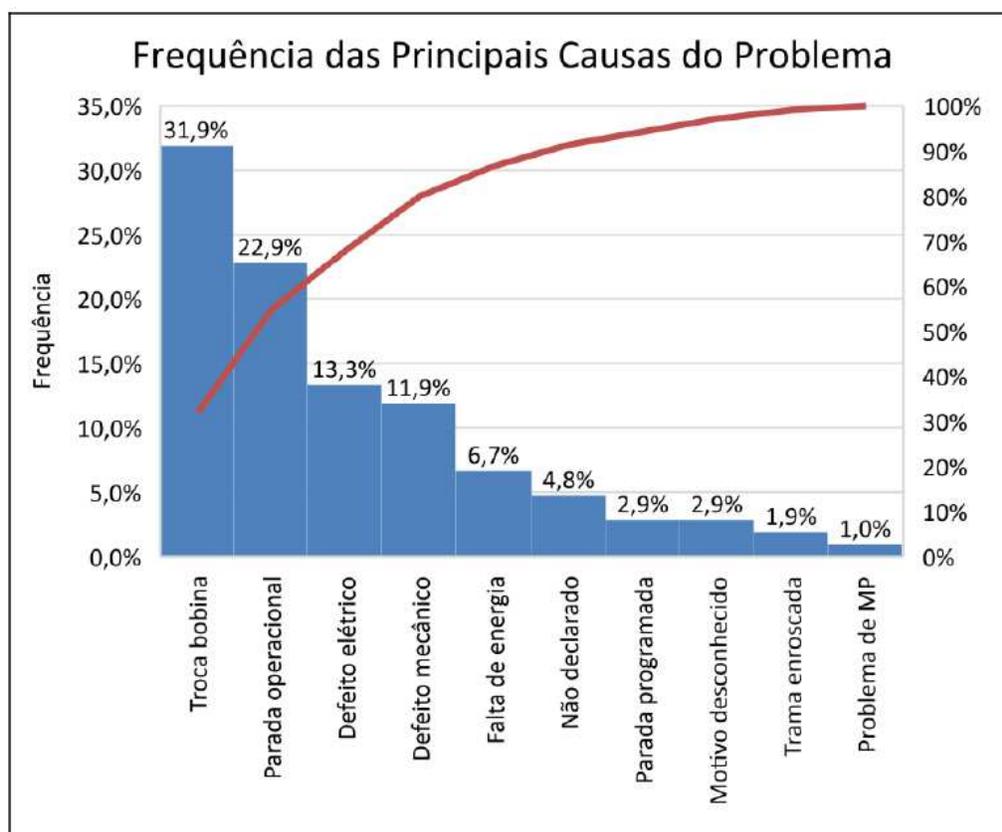


Figura 2.8 – Diagrama de Pareto (SOUZA, 2016)

2.6.2 Diagrama de Ishikawa

Segundo Seleme (2015), o método de Kaoru Ishikawa, também chamado de Diagrama de Causa e Efeito ou “espinha de peixe”, pode classificar e categorizar os quesitos analisados por meio dos 6M, tais eles são:

- Método: forma de fazer;
- Material: do que é feito;
- Mão de obra: forma de utilizar;
- Máquina: interação externa;
- Meio Ambiente: lugar de operação;
- Medida: de acordo com normas.

Em análises de falhas, o Diagrama de Ishikawa auxilia na identificação das mesmas, auxiliando na priorização para, posteriormente, serem executadas as ações. Um exemplo deste dispositivo pode ser visto na figura 2.9.

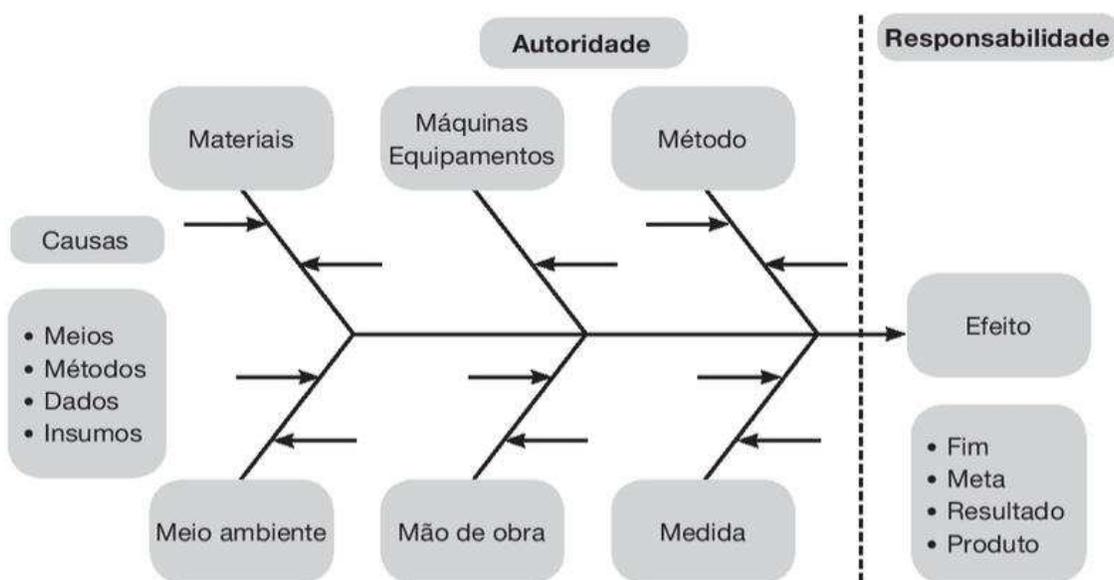


Figura 2.9 – Esquematização do Diagrama de Causa e Efeito (SELEME, 2015)

2.6.3 Brainstorming

A metodologia desenvolvida por Alex Osborn em 1939, é um processo para formular novas ideias de resolução dos problemas, considerando um grupo de pessoas. Logo, o brainstorming pode identificar possíveis causas e soluções de falhas, auxiliando na criação de estratégias para combater estas intempéries (CARVALHO, 2018).

Segundo Almeida (2014), todas as sugestões são registradas sem qualquer confabulação ou crítica sobre elas, com o intuito de ter o maior número de reflexões possíveis. O registro de hipóteses, para melhor análise, pode ser feito em planilhas e diagramas.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa segue duas vertentes do ramo científico. A primeira é a exploratória, se mostrando na necessidade de um levantamento bibliográfico através de estudos, livros, artigos científicos e materiais diversos que englobam a compreensão sobre a Manutenção Centrada na Confiabilidade para a aplicação no sistema hidráulico da CAT 416D.

A segunda linha científica que este estudo segue é a descritiva, caracterizando uma determinada situação, com apresentação de múltiplas propostas embasadas em técnicas padronizadas de coleta de dados. Logo, esta pesquisa se designa como um estudo de caso, pois segundo Gil (2008), trata-se de uma pesquisa peculiar com a determinação do seu contexto.

Sondagens bibliográficas foram o primeiro passo para este trabalho, e um dos principais mecanismos de um estudo de caso, sendo este o caráter desta pesquisa, e o procedimento para a coleta de dados apura fontes diretas de informação, interpretação do episódio e atribuição de significados, sendo assim, qualitativa.

Nesta pesquisa utilizou-se as diretrizes da Manutenção Centrada na Confiabilidade como metodologia adaptada para análise de função e falhas do sistema hidráulico das CAT 416D da Edeconsil Construções e Locações LTDA para a elaboração de um planejamento da manutenção de itens críticos. Com isso, para a análise de falhas com os procedimentos da MCC utilizou-se a técnica FMEA, explanada no item 2.5.1 desta pesquisa. O diagrama mostrado pela figura 3.1 demonstra a trajetória utilizada neste trabalho



Figura 3.1 – Diagrama de implementação da MCC (AUTOR, 2018)

Na primeira etapa, houve levantamento de informações sobre o sistema hidráulico da CAT 416D. Esta coleta de dados se deu através da análise da própria máquina da empresa, tanto fisicamente quanto em documentos técnicos particulares, e também da solicitação de referências do fabricante.

Procurou-se demonstrar o sistema em relação ao seu funcionamento, localizando os seus equipamentos e explicitando o processo de forma clara e sucinta, auxiliando na análise da etapa seguinte. Além disso, houve a verificação de informações técnicas referentes ao desempenho da máquina, que são influenciadas pelo sistema hidráulico, para a determinação de padrões nominais do ativo nas obras da empresa.

A partir do manual da retroescavadeira, da assistência informativa do processo anterior e apoio de membros da equipe de manutenção da empresa, o sistema hidráulico da máquina foi estratificado em seus principais subsistemas. Tal classificação também acatou ao aspecto

funcional dos subgrupos, tentando conciliar ao máximo todo o potencial de trabalho do sistema com clareza e objetividade de informações.

Com a divisão, foram determinadas as funções de cada subsistema, que também contou com o brainstorming da equipe de manutenção, além dos aparatos citados anteriormente. Tendo as funções, tem-se a descrição das falhas que impedem estes funcionamentos, que, por seguinte, serão analisadas em cada componente dos equipamentos que formam o sistema hidráulico da retroescavadeira.

Adiante foi posto em prática conceitos vistos anteriormente, no tópico 2.5.1 deste trabalho, com os procedimentos da análise dos modos de falha e efeitos. Tendo como objeto de estudo o sistema hidráulico de uma retroescavadeira, o FMEA unirá todas as informações encontradas anteriormente para uma exploração.

Além das falhas funcionais e a exibição dos modos de falha de cada componente, irão ser agregados os fatores de criticidade, também comentados em tópicos anteriores, os quais irão determinar a criticidade de cada componente em classes, auxiliando na identificação dos itens mais críticos. Toda a análise será documentada em planilha.

Com a realização da classificação das criticidades dos componentes, destacou-se os de maiores valores, segundo os parâmetros de criticidade adotados. Com isso, analisando as ações de detecção e medidas preventivas destes itens, serão tomadas decisões para bloqueio das causas de falha dos mesmos.

Estes procedimentos sugeridos serão resultados de estudos e ideias da equipe de manutenção da empresa, com o intuito apenas de aumento da confiabilidade do sistema hidráulico da máquina da forma mais ideal possível, um brainstorming aliado aos conhecimentos e informação técnicos da equipe sobre a máquina.

Estabelecida as melhores ações possíveis durante as etapas anteriores, as mesmas serão avaliadas dentro do cenário da empresa. Logo, o processo decisório, mostrado pela figura 2.4 foi utilizado para ajudar na escolha das melhores recomendações de manutenção do sistema.

Neste processo, algumas perguntas serão feitas sobre os modos de falhas nas ocasiões com alta criticidade da análise, e estas serão avaliadas de acordo com alguns aspectos das falhas, como: Evidência (E), Aspectos de Segurança (S), Continuidade de Funcionalidade (O) e Classificação da Falha (F).

Para a seleção das tarefas serão feitas sete perguntas a respeito das falhas dos componentes, e estas perguntas serão interligadas a tipos de procedimentos para manutenção, demonstrados na figura 2.5. A partir das respostas, serão selecionadas as tarefas, e as mesmas serão classificadas em relação a suas aplicabilidades e efetividades de acordo com o Quadro 2.1.

Nesta última etapa será demonstrado os processos com suas periodicidades para a manutenção dos principais componentes críticos do sistema. Onde esta estratégia terá a proposta concomitante e, em alguns casos, de anexo ao preventivo padrão da empresa.

4. ESTUDO DE CASO

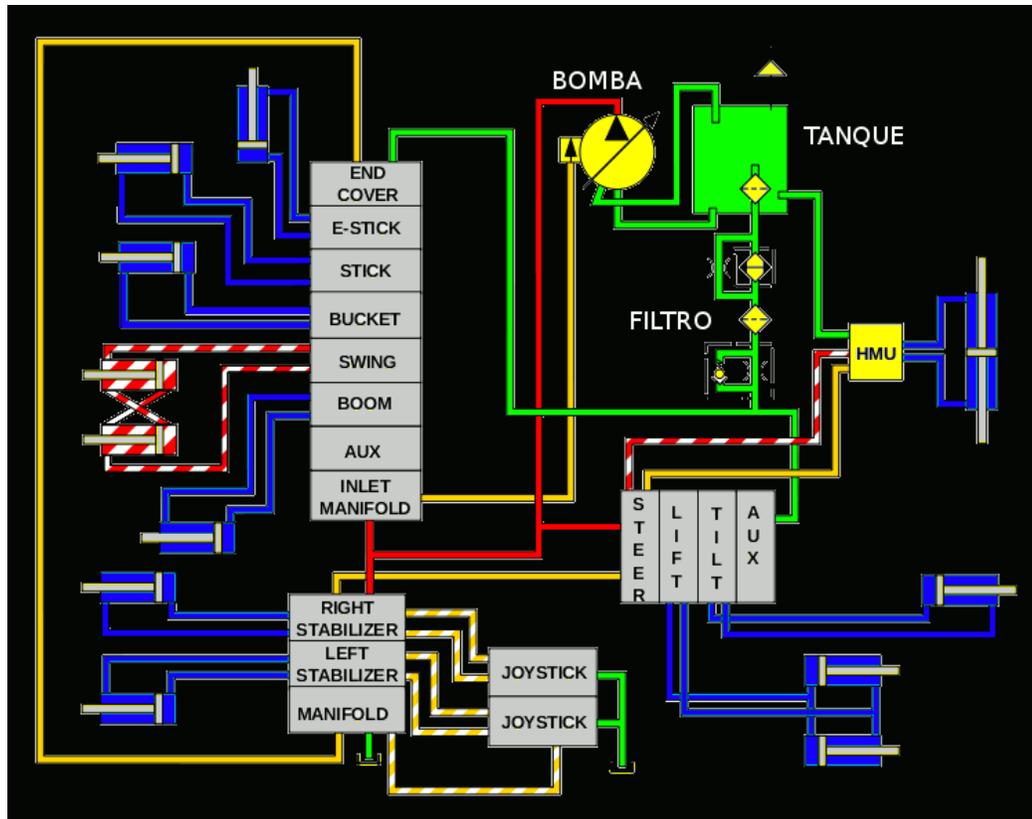
Neste momento será descrito a aplicação da MCC no sistema hidráulico da retroescavadeira Caterpillar 416D, visando a melhoria da manutenção do mesmo recomendando procedimentos de bloqueio das causas e modos de falha. Anteriormente, foi apresentado o modo de aplicação da metodologia de manutenção, para neste tópico, ser exibida a aplicabilidade.

4.1 Aplicação da MCC

Baseado no tópico anterior, será utilizado o MCC no sistema hidráulico da CAT 416D, de uma determinada frota. Logo, será objetivado a proposta de aperfeiçoamento da manutenção deste sistema, auxiliando na diminuição das taxas de falha deste tipo de ativo.

4.1.1 Caracterização do sistema hidráulico e levantamento de dados

Junto à equipe de PCM, foi analisado o sistema hidráulico do modelo, com o auxílio de levantamentos teóricos. Tais análises irão assistir na determinação do sistema a ser estudado, possibilitando uma melhor abrangência no estudo. Na figura 4.1 é demonstrado o diagrama do sistema em relação às articulações da série 416D da Caterpillar.



**Figura 4.1 – Diagrama em blocos das atuações hidráulicas 416D
(CATERPILLAR SPRV1820, 2016)**

A imagem demonstra a bomba hidráulica fazendo o transporte do fluido do tanque até as articulações principais, auxiliares e dos estabilizadores, ambas executadas por cilindros, demonstrado nas figuras 4.2 e 4.3. Há outro grupo de transporte de fluido, responsável pelo giro da cabine, neste grupo encontra-se a bomba de giro. Posteriormente, certa quantidade de óleo hidráulico é retornada ao tanque, passando antes pelo processo de filtragem.



Figura 4.2 – Cilindro do estabilizador da 416D (Imagem cedida pela Edeconsil Construções e Locações LTDA, 2018)

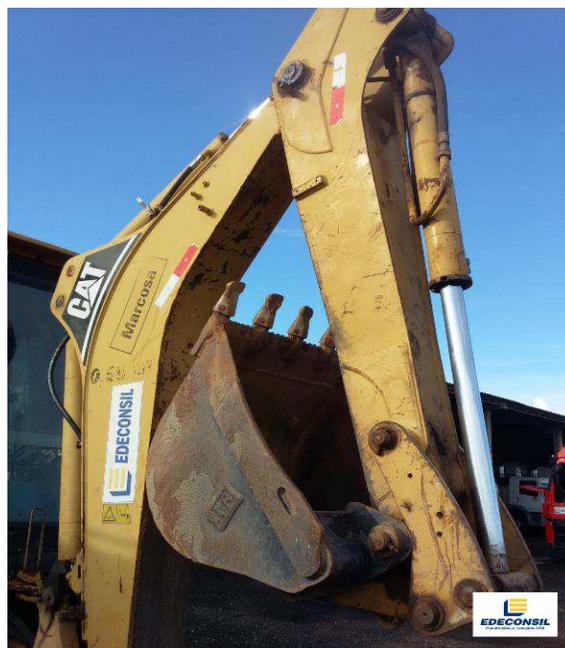


Figura 4.3 – Cilindro da Caçamba 416D (Imagem cedida pela Edeconsil Construções e Locações LTDA, 2018)

O fluido hidráulico é bombeado para poder acionar todos estes implementos, consequentemente, realizando o trabalho exigido. Para acionar a bomba acopla-se um eixo ao motor da máquina, fazendo com que a bomba hidráulica e os sistemas auxiliares funcionem.

Este processo de movimentação do óleo hidráulico, para realizar trabalhos em obras, é regulado por válvulas que, além de disponibilizar o fluxo para toda linha, regulam a pressão interna deste sistema. Por isso, não só a pressão de válvulas, mas outros componentes, mostrados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Informações técnicas da 416D (AUTOR, 2018)

Informações Técnicas	
Profundidade de Escavação	4390 mm
Alcance do cotovelo articulado no estado dobrado	5650 mm
Força da Pá no estado dobrado	5307 kg
Altura das cargas no estado dobrado	3600 mm
Alcance da carga alta no estado dobrado	1720 mm
Vazão da Bomba	130 l/min
Pressão da Válvula reguladora	20700 kPa

Baseadas nessas informações, as próximas etapas serão desenvolvidas, e a partir do FMEA será feita análises dos modos de falhas dos componentes deste sistema, com o intuito de propor ações para prevenir as causas e os modos de falha.

4.1.2 Funções do sistema

A função do sistema hidráulico da retroescavadeira é basicamente acionar os implementos e realizar trabalho, tonando-se um tanto vago. Para melhorar a análise, foi feita a divisão em 33 subsistemas e 83 componentes, destacando suas funções. A divisão em subsistemas, como mostrado no Quadro 4.2, irá auxiliar na análise dos modos e efeitos de falha considerando os componentes.

Quadro 4.2 – Subsistemas do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

Estratificação do Sistema Hidráulico	
Subsistemas	Função
Conjunto de Válvulas do Conector	Distribuir o fluido para vários pontos do sistema
Cilindro da Caçamba	Transforma potencial hidráulico em trabalho para a caçamba
Cilindro da Lança	Transforma potencial hidráulico em trabalho para a lança
Cilindro de Levantamento	Transforma potencial hidráulico em trabalho de levantamento
Cilindro do Estabilizador	Transforma potencial hidráulico em trabalho para a estabilização
Cilindro de Giro	Transforma potencial hidráulico em trabalho para o giro da cabine
Cilindro de Inclinação	Transforma potencial hidráulico em trabalho para a inclinação
Cilindro do Braço	Transforma potencial hidráulico em trabalho para o braço
Comando Hidráulico da Bomba	Auxiliar no controle da bomba hidráulica
Mangueiras da Lança	Transportar fluido hidráulico até o comando da lança
Mangueiras do Levantamento	Transportar fluido hidráulico até o comando de levantamento

Mangueiras do Estabilizador	Transportar fluido hidráulico até o comando de estabilização
Mangueiras de Giro	Transportar fluido hidráulico até o comando de giro
Mangueiras de Inclinação	Transportar fluido hidráulico até o comando de inclinação
Mangueiras da Caçamba	Transportar fluido hidráulico até o comando da caçamba
Mangueiras do Braço	Transportar fluido hidráulico até o comando do braço
Mangueiras da Bomba Hidráulica	Transportar fluido hidráulico da bomba até o sistema
Válvulas Reguladoras	Manter o sistema com pressão adequada
Filtro	Reter contaminantes da linha hidráulica
Bomba Hidráulica	Bombear o fluido hidráulico por todo o sistema
Tanque Hidráulico	Armazenar o fluido hidráulico do sistema
Posicionador da Caçamba	Alinhar a caçamba em relação à estrutura da máquina
Grampos nas Linhas Hidráulicas	Unir elementos da linha hidráulica
Espaçador	Determinar a distância adequada entre elementos do sistema hidráulico
Ilhó	Orientar as linhas hidráulicas
Cotovelo	Direcionar o fluxo hidráulico
Mola	Absorver oscilações do sistema
Calço	Nivelar a linha hidráulica
Bomba de Giro	Bombear o fluido hidráulico para o sistema de giro
Comando Hidráulico do Operador	Realizar o controle do fluxo de fluido a partir dos comandos do operador
Válvulas Auxiliares	Distribuir o fluido pelo sistema
Fluido Hidráulico	Transmitir força e lubrificar os elementos do sistema

4.1.3 Aplicação da FMEA

A partir dos subsistemas, houve a estratificação em componentes e a identificação de seus modos, causas e efeitos em relação às falhas. Baseando-se nos levantamentos bibliográficos, determinou-se os fatores de criticidade, Ocorrência, Severidade e Detecção, para o cálculo do NPR.

Para classificação dos graus de ocorrência, demonstrado no Quadro 4.3, utilizou-se os dados das falhas adquiridas das ordens de serviço do determinado tipo de equipamento, junto a um brainstorming que auxiliou a estipular escalas para determinada faixa de ocorrência.

Quadro 4.3 – Proporção das ocorrências de falhas (Adaptado de AIAG, 2008)

OCORRÊNCIA		
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	PROPORÇÃO
1	REMOTA	1:1000000
2	PEQUENA	1:20000
3		1:4000
4	MODERADA	1:1000
5		1:400
6		1:80
7	ALTA	1:40
8		1:20
9	MUITO ALTA	1:8
10		1:2

O índice de detecção tem seu fundamento a partir do grau de percepção depois da ocorrência de um modo de falha no sistema hidráulico, tal percepção que é influenciada também por onde a máquina opera, podendo diminuir seu rendimento. Essa classificação é demonstrada no Quadro 4.4, sendo uma adaptação da pesquisa realizada por Vieira (2017).

Quadro 4.4 – Classificações de detecção (Adaptado de VIEIRA, 2017)

DETECÇÃO		
ÍNDICE	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
1 2	MUITO GRANDE	DETECÇÃO QUASE CERTA
3 4	GRANDE	ALTA PROBABILIDADE DE DETECÇÃO
5 6	MODERADA	PROVAVELMENTE SERÁ DETECTADO
7 8	PEQUENA	PROVAVELMENTE NÃO SERÁ DETECTADO
9 10	MUITO PEQUENA	CERTAMENTE NÃO SERÁ DETECTADO

Por último, o índice de severidade. Esta classificação considerou o quanto os efeitos das falhas impactam na obra, sendo por meio de diminuição de desempenho ou a dificuldade de operação da mesma, sentida pelo colaborador desta função. O Quadro 4.5 demonstra a classificação da severidade para este trabalho.

Quadro 4.5 – Índices de severidade (Adaptado de AIAG, 2008)

SEVERIDADE		
ÍNDICE	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
1	MÍNIMA	A FALHA PASSA DESPERCEBIDA
2 3	PEQUENA	DESEMPENHO ATINGIDO LIGEIRAMENTE, REFLETINDO EM OBRA, E LEVE DESCONTENTAMENTO DO OPERADOR
4 5 6	MODERADA	RELEVANTE INFLUENCIA NO DESEMPENHO, DIFICULTANDO O TRABALHO DO OPERADOR, COM REFLEXÃO NA OBRA
7 8	ALTA	MÁQUINA DEIXA DE FUNCIONAR, OBRA FICA PARADA
9 10	MUITO ALTA	MÁQUINA DEIXA DE FUNCIONAR, OBRA FICA PARADA, PORÉM, AFETA A SEGURANÇA.

Os parâmetros de criticidade serão adotados segundo a sugestão de Garrido (2017), onde casos com valores $125 < NPR \leq 1000$ são considerados de alta criticidade, necessitando ações de bloqueio das causas de falha.

Com as informações de criticidade, estratificação do sistema, modos e efeitos de falhas, a análise pôde ser posta em planilha, como demonstra o Apêndice A. A mesma descreve cada subsistema em componentes, por seguinte, as funções destes com seus modos, causas e efeitos de falha.

Alguns subsistemas contêm componentes iguais a outros, porém, seus modos, efeitos e causas das falhas se diferenciam.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise das Críticidades

Após a análise de falhas pela metodologia FMEA foram evidenciados alguns resultados, que serão expostos a seguir.

Foram encontrados 197 riscos, onde 82 destes foram objetos específicos para esta pesquisa, pois eles possuem graus elevados de risco, de acordo com o critério adotado e explicitado no tópico 4.1.3. E de acordo com o gráfico da figura, aproximadamente 42% dos riscos encontrados possuem alto NPR.

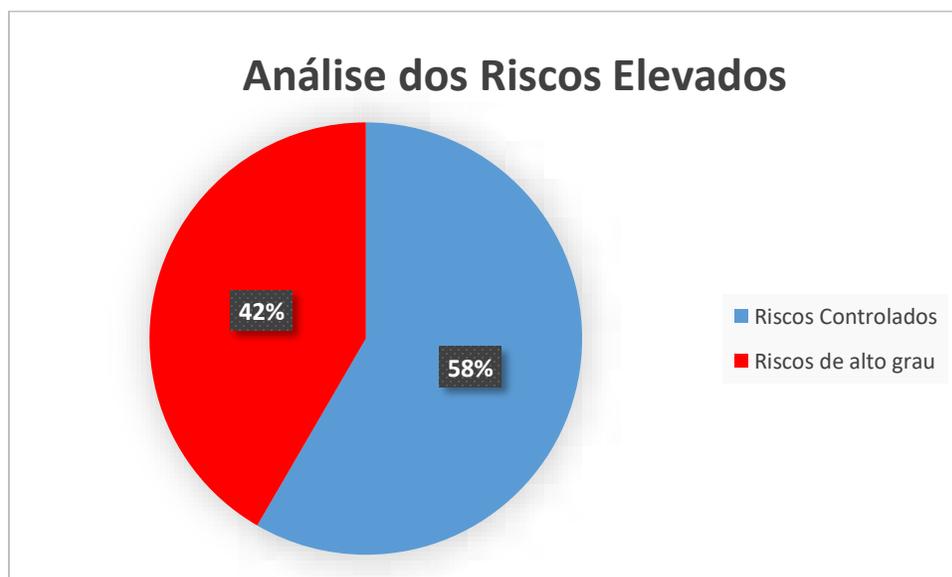


Figura 5.1 – Demonstração do percentual de riscos elevados (AUTOR, 2018)

Na divisão dos 33 subsistemas em 83 componentes, percebeu-se que estes itens se repetiam durante as composições de equipamentos diferentes, podendo ter valores diferentes e NPR devido ao seu local de atuação. Porém, como mostra o Quadro 5.1, 20 itens foram responsáveis pelos altos índices de criticidade.

Quadro 5.1 – Itens com alta criticidade (AUTOR,2018)

Itens Críticos	
Bucha (Bomba de Giro)	Papel (Filtro)
Carcaça (Cilindro do Estabilizador)	Parafuso (Comandos Hidráulicos, Cilindro do Estabilizador e Posicionador da caçamba)
Cilindro (Bomba de Giro)	Pistão (Bomba de Giro)
Cotovelo	Placas(Comandos Hidráulicos, Bomba Hidráulica, Posicionado da Caçamba e Bomba de Giro)
Cubo (Comando Hidráulico da Bomba)	Porca
Eixo (Bomba Hidráulica)	Retentor
Fluido Hidraulico	Rolamento (Bomba Hidráulica)
Grampo	Tampa (Tanque)
Mangueira	Válvulas
Mola	Pino (Bomba de Giro)

5.2 Seleção das Atividades de Manutenção

A partir dos resultados da aplicação da metodologia FMEA, a equipe levantou informações técnicas sobre os componentes da máquina junto a um brainstorming para propor as melhores ações de manutenção.

Todas as ideias foram consideradas, partindo assim para as validações demonstradas nas figuras 2.4 e 2.5, respectivamente os processos de decisão e seleção de atividades segundo Smith (1992). Foi seguido os passos destes processos, onde, na seleção de atividades, as sete perguntas foram enumeradas na planilha demonstrada pelo Quadro 5.2. Esta análise também é acompanhada pela classificação de aplicabilidade e efetividade da manutenção, mostrada no Quadro 2.2.

5.3 Plano de Manutenção

Depois da seleção de tarefas, um plano para auxiliar na manutenção do sistema hidráulico da retroescavadeira foi feito elaborado, sendo descritivo em relação a operação e frequência.

Se espera que estes procedimentos possam agregar ao processo já existente na empresa, padronizando-os e tornando-se rotina.

Visto no Quadro 5.3, o plano elaborado tem frequências que vão de 500 a 2000 horas de trabalho da máquina. Tais parâmetros foram utilizados a partir de dados da empresa e documentações técnicas, como citado anteriormente. E durante estes prazos, a máquina deve ser parada para se submeter a esses procedimentos.

Quadro 5.2 – Seleção de atividades de manutenção (AUTOR, 2018)

Seleção das Atividades																
COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	F	1	2	3	4	5	6	7	ATIVIDADE	FREQUÊNCIA	CLASSIFICAÇÃO DE APLICABILIDADE E EFETIVIDADE
Bucha da bomba de giro	Não ajusta a união	Bucha desgastada prematuramente	N	N	-	D/B	N	-	S	S	N	S	-	Inspeção do funcionamento da bomba de giro	2000 horas	Inspeção Preditiva
Carcaça do cilindro do estabilizador	Não reveste adequadamente	Carcaça arranhada	N	S	N	D/A	N	-	S	S	N	S	-	Inspeção dos cilindros dos estabilizadores	2000 horas	Inspeção preditiva
Cilindro da bomba de giro	Não envolve corretamente os outros componentes	Cilindro desgastado prematuramente	N	N	-	D/B	N	-	S	S	N	S	-	Inspeção do funcionamento da bomba de giro	2000 Horas	Inspeção Preditiva
Cotovelos	Não direciona o fluxo de óleo corretamente	Cotovelo rompido	S	S	N	A	N	-	N	N	-	N	N	Manutenção Corretiva	-	-
		Cotovelo obstruído	N	N	-	D/C	N	-	N	S	N	N	N	Manutenção Corretiva	-	-
Cubo do comando hidráulico	Não ajuda a rotacionar o eixo	Cubo travado	S	N	-	B	N	-	S	N	-	S	-	Inspeção do funcionamento da bomba hidráulica	2000 horas	Inspeção Preditiva
Fluido hidráulico	Não transmite força e não lubrifica o sistema	Fluido contaminado	N	N	-	D/B	S	S	S	S	S	S	-	Troca periodica do fluido	2000 horas	Substituição Preventiva
														Limpeza do fluido	1000 horas	Reparo preventivo
														Análise em laboratório	1000 horas	Detecção de Falhas
Grampos	Não une os elementos de forma adequada	Grampo Fraturado	N	S	S	D/A	N	-	N	S	N	S	-	Inspeção dos grampos	2000 horas	Inspeção Preditiva
Mangueiras	Não faz o transporte adequado do fluido	Mangueira rompida	S	S	N	A	N	-	N	N	-	N	N	Manutenção Corretiva	-	-
		Mangueira obstruída	N	N	-	D/C	N	-	N	S	N	N	N	Manutenção Corretiva	-	-
Molas	Não absorve corretamente as oscilações	Mola quebrada	S	N	-	B	N	-	S	N	S	S	-	Inspeção visual	2000 horas	Inspeção Preditiva
		Mola amolecida	N	N	-	D/B	N	-	N	S	N	N	N	Manutenção Corretiva	-	-
Elemento Filtrante	Não filtra adequadamente	Papel Rompido	N	N	-	D/B	S	S	N	S	N	S	-	Troca do filtro a cada	500 horas	Substituição Preventiva

Continuação Quadro 5.2 – Seleção de atividades de manutenção (AUTOR, 2018)

Seleção das Atividades																
COMPONENTE	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	F	1	2	3	4	5	6	7	ATIVIDADE	FREQUÊNCIA	CLASSIFICAÇÃO DE APLICABILIDADE E EFETIVIDADE
Parafusos	Não fixa de forma ideal	Parafuso deformado	N	N	-	D/C	N	-	S	S	N	S	-	Verificação do torque	1000 horas	Inspeção Preditiva
Pistão da bomba de giro	Não rotaciona a bomba com eficiência	Pistão desgastado prematuramente	S	N	N	B	N	-	N	N	-	N	N	Manutenção Corretiva	-	-
Placas	Não sustenta corretamente	Placa fadigada	N	S	-	D/A	N	-	S	S	N	S	-	Inspeção visual	2000 horas	Inspeção Preditiva
		placa fraturada	N	S	-	D/A	N	-	S	S	N	S	-	Inspeção visual	2000 horas	Inspeção Preditiva
Porcas	Não auxilia corretamente na fixação	Porca desgastada prematuramente	N	N	-	D/C	N	-	S	S	N	S	-	Verificação do torque	2000 horas	Inspeção Preditiva
Retentores	Não impede o vazamento de fluidp	Retentor estourado	S	N	N	B	S	S	N	N	-	S	-	Inspeção visual	2000 horas	Inspeção Preditiva
Rolamento da bomba hidráulica	Não facilita a rotação do eixo	Rolamento fraturado	N	N	-	D/B	N	-	S	S	S	S	-	Inspeção visual	2000 horas	Inspeção Preditiva
Tampa do tanque	Não mantém a pressão adequada	Tampa desgastada	N	S	-	D/A	N	-	S	S	N	S	-	Inspeção visual	1000 horas	Inspeção Preditiva
Válvulas	Não consegue regular a pressão de fluido no sistema	Válvula obstruída	S	S	S	A	N	-	S	N	-	S	-	Limpaza das válvulas	500 horas	Reparo preventivo
Pino da bomba de giro	Não auxilia na união	Pino deformado	N	N	-	D/C	N	-	N	S	S	S	-	Inspeção visual	2000 horas	Inspeção Preditiva

Quadro 5.3 – Ações recomendadas para a manutenção (AUTOR, 2018)

PLANO DE MANUTENÇÃO PARA O SISTEMA HIDRÁULICO DA 416D		
AÇÕES RECOMENDADAS	FREQUÊNCIA	OBSERVAÇÕES
Rotina de Inspeção preditiva de trabalho e estrutura da Bomba de Giro	2000 horas	
Rotina de inspeção preditiva de trabalho e estrutura da Bomba Hidráulica	2000 horas	
Análise preditiva do óleo hidráulico	1000 horas	Realizado por terceiros
Fazer limpeza do fluido hidráulico	De acordo com o laudo da análise	
Rotina de inspeção preditiva do torque de fixadores do sistema	1000 horas	
Inspeção do trabalho dos cilindros	2000 horas	
Limpeza das válvulas reguladoras e respiro	500 horas	
Rotina de inspeção do tanque hidráulico	500 horas	

6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve o objetivo de utilizar a metodologia MCC no sistema hidráulico de uma determinada frota de retroescavadeiras Caterpillar 416D. E durante o trabalho, houve a colaboração nos âmbitos teórico e prático.

Para a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade referências como Smith (1992), Kardec (2009) e Siqueira (2014), foram utilizadas.

Implementando a MCC no sistema hidráulico da retroescavadeira 416D, houve a noção da dimensão deste sistema em relação aos seus componentes e como eles vêm a falhar, para assim, organizar estratégias de combate a essas falhas.

Com a utilização da técnica de análise de falhas FMEA, pode-se estratificar o sistema, enfatizando as suas funções e falhas, além de determinar o grau de risco pelo processo de NPR, onde os itens mais críticos foram destacados para a seleção de atividades de manutenção aos mesmos.

Tendo uma visão proveitosa desta pesquisa, pode-se considerar:

- I. A implementação da MCC em um ramo de negócios onde não se costuma investir intensamente em ferramentas específicas de confiabilidade, tendo respaldo apenas nos procedimentos preventivos;
- II. Analisar um sistema robusto, como o de uma retroescavadeira, exigindo conhecimentos técnicos e práticos para a melhor apuração possível da análise;
- III. Determinação dos níveis de criticidade em relação ao trabalho da máquina, obra, podendo auxiliar no acompanhamento das manutenções em serviço, melhorando a produtividade.

Sugere-se para trabalhos futuros:

- A utilização de softwares exclusivos para análise MCC, elevando o nível de confiança dos resultados;
- Maior acesso do equipamento em atividade, se possível, analisá-los nos canteiros de obra por muito mais tempo, ajudando no refinamento das informações em relação à capacidade nominal e modos de falhas.

- Melhorias da análise MCC aplicadas com o auxílio desta pesquisa.

Com o objetivo de aplicar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma determinada frota das retroescavadeiras Caterpillar 416D, promovendo ações que bloqueiam os modos de falha, pode-se dizer que se teve resultados desejados com propósito alcançado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIAG. **Manual de referência FMEA 4ª edição. AIAG - Automotive Industry Action Group - AIAG Reference guide - Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).** [S.l.]: STANDARD, 2008.

ALMEIDA J. F. et al. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MASP AO PROCESSO DE ALTERAÇÃO TÉCNICA DE PRODUTOS EM UMA INDÚSTRIA DE MÉDIO PORTE. In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 34., 2014, Curitiba, PR. Anais... Engenharia de Produção, Infraestrutura e Desenvolvimento Sustentável: a Agenda Brasil+10. Curitiba, PR: UNIFEG, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de Edificações: Requisitos para o Sistema de Gestão de Manutenção.** Rio de Janeiro, 2012.

BARAN, L. R. **MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA Monografia de especialização.** Ponta Grossa: [s.n.], 2011.

BRAILE, Nathalia Avila; ANDRADE, J.J.O. Estudo de falhas em equipamentos de costura industriais utilizando o FMEA e a análise de confiabilidade. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2013.**

BRUSIUS JR., W. Estratégia de Manutenção Centrada na Confiabilidade para Três Máquinas de Produção em uma Empresa de Transformação Mecânica. **Especialização em Engenharia de Produção e Sistemas – UNISINOS, 2016.**

CALDAS, Afonso Neves. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão para a Manutenção Preditiva dos Ativos de uma Subestação Elétrica.** 2015. 109p. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação, Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto, Porto.

CARVALHO, Samara da Consolação Silva. **Aplicação de Métodos e Ferramentas da Qualidade no Setor de Envase em uma Organização do Segmento de Cosméticos.** 2018. 72p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade.

CATERPILLAR INC. **Caterpillar SPRV1820: Aprendizado de Serviço Global – Apresentação Técnica.** 2016. 1693 p.

CORRÊA, Rodrigo Fernandes. **Otimização de Periodicidade nos Planos de Manutenção Preventiva: Uma Modelagem Matemática.** 2015. 203p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional.** 2013. 104p. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

COSTA, Sérgio Dias. **Proposta de Implantação de um Programa de Monitoração de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos de Segurança em Usina Nuclear.** 2016. 169p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Engenharia Nuclear, PPGIEN, Rio de Janeiro.

DALOSTO, Diogo Nunes. **Análise da Consciência do FMEA: Uma Abordagem Quantitativa à uma Ferramenta Qualitativa.** 2015. 147p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

DE LA VEGA, Pedro Buckentin. **Elaboração de Plano de Manutenção em Indústria de Cilindros Hidráulicos.** 2017. 41p. Monografia (Graduação) – Curso de engenharia de Produção, Universidade Estadual de Maringá, Paraná.

DIAS, Giovanni Augusto Ferreira. **Avaliação de Desempenho em Vagões Ferroviários Baseado nos Parâmetros do Sistema de Preditivo Wayside. Um Estudo de Caso.** 2011. 101p. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís.

ESTUDO DE MERCADO. **Revista M&T: Manutenção e Tecnologia,** São Paulo, N° 186, 2015.

FERNANDES, Leonardo Vianna. **Elaboração de um Plano de Manutenção para as Máquinas Retroscavadeiras da Prefeitura Municipal de Novo Machado.** 2015. 57p. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção, Faculdade Horizontina, Horizontina.

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA, 2008.

FILHO, José Roberto. **Gestão de Manutenção em Manufatura: Aplicação da Teoria da Decisão Baseada em Conceitos de Confiabilidade.** 2008. 105p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

FLEMING, P. V.; OLIVEIRA, L. F. S. de; FRANÇA, S. R. Aplicações de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em instalações da Petrobrás. In: V Encontro Técnico sobre Engenharia de Confiabilidade e Análise de Risco. 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Petrobrás, 1997.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

GARRIDO, Renan Lombardo Ferreira. **Confiabilidade e Manutenção: Um Estudo sobre a Técnica FMEA**. 2017. 100p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

JUNIOR, Luís Antônio Cassaroti. **Automação de uma Retroescavadeira através do uso de Joystick e CLP**. 2011. 95p. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de Piracicaba, Piracicaba.

KARDEC, A.; NASCIF,. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed rev. e ampl. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.

MARQUES, Gabriel Rezende. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de Caso da Eficácia dos Equipamentos Industriais**. 2017. 53p. Monografia (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MARQUES, Jorge Ferreira. **Aplicação da Metodologia TRIZ e da Manutenção Autônoma em Atividades de Manutenção Industrial**. 2014. 95p. Dissertação (Mestrado) – Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Setúbal.

MOUBRAY, J. **Reliability centered Maintenance**. 2 ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MOURA, C. **Análise de modos e efeitos de falha potencial (FMEA): manual de referência**. São Paulo: IQA, 2000.

NASCIF, J.X.; DORIGO, L.C. A Importância da Gestão na Manutenção ou Como Evitar as “Armadilhas” na Gestão da Manutenção. **CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO**, 2015.

NASCIMENTO, J. **Plano de manutenção baseada nos preceitos da manutenção centrada em confiabilidade em um processo de produção de refrigerantes** – 2014. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/115276> > Acesso em: 27 fev. 2018.

NUNES, Enon Laércio. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da Implantação em uma Sistemática de Manutenção Preventiva Consolidada**. 2001. 149p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PAIVA, Rodrigo Anderson. **Análise de Confiabilidade de um Moto-Ventilador Centrífugo: Aplicação no Sistema de Pressurização de Subestação Industrial para Garantia da Segurança Operacional na Indústria Petroquímica**. 2015. 190p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PALADINI, E. P. et al. **Gestão de Qualidade: Teoria e Caos**. 2ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 430p. (Coleção CAMPUS – ABREPO)

QUINTELLA, Luciano Confort. **Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) na Otimização do Programa de Manutenção de Centrais Termoeletricas**. 2016. 157p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá.

RIBEIRO, José Diogo Cabral Castelo Branco. **Desenvolvimento de Estratégia de Manutenção Preditiva e Otimização do Armazém de Peças**. 2015. 74p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto.

ROSA, Rafael Nunes da. **Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Processo da Indústria Automotiva**. 2016. 102p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SELEME, Robson. **Manutenção Industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. 1ed. Curitiba: Intersaberes, 2015

SILVA, Renan Favarão. **Determinação Antecipada de Falha (AFD) Para a Identificação de Falhas Potenciais no Projeto de Produtos: Uma Comparação Com a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA)**. 2017. 132p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

SIQUEIRA, I. P. D. **Manutenção centrada em confiabilidade - Manual de implementação**. Rio de Janeiro: Quaitymark, 2014.

SMITH, A. M. **Reliability-Centered Maintenance**. California-USA: McGraw-Hill, 1992.

SOUZA, Rafael Doro. **Análise da gestão da manutenção focando a Manutenção Centrada na Confiabilidade: Estudo de caso MRS Logística**. 2008. 54p. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

SOUZA, Ruggiero César. **Proposta de Implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Ensacadeira de uma Empresa de Calcinação**. 2016. 129p. Monografia (Graduação) – Centro Universitário de Formiga, UNIFOR, Formiga.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

VIEIRA, Francisco Clarete Pereira. **Proposta de Modelo de Gerenciamento de Risco com Base na Ferramenta da FMEA: Aplicação na Operação de Furação no Torno Mecânico**. 2017. 93p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

VILLANUEVA, Marina Miranda. **A Importância da Manutenção Preventiva para o Bom Desempenho da Edificação**. 2015. 173p. Monografia (Graduação) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

WAEYENBERGH, G. **CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development**. Leuven, Belgica: Katholieke Universiteit Leuven, 2005.

WUTTKE, R.; SELBITTO, M. **Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico**. Produção On-line, v.8, n.4, p.1-23, 2008.

XAVIER, Francisco José Cavalcante. **Manutenção como Atividade de Gestão e Estratégia: Um Estudo na Empresa Alfa do Polo Industrial de Manaus**. 2015. 107p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará, Belém.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços LTDA, 2004.

APÊNDICE A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Conjunto de Válvulas do Conector	Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICA PARA REALIZAÇÃO DE TRABALHO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						APLICAÇÃO INCORRETA	4		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	160
						IMPUREZAS NO SISTEMA	4		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	192
		Válvulas	DISTRIBUIR O FLUIDO HIDRÁULICO PELO SISTEMA	NÃO DISTRIBUI O FLUIDO	VÁLVULA OBSTRUÍDA	ACUMULAÇÃO DE PARTICULADOS NAS VIAS	7	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA DO SISTEMA	7	NÃO HÁ	VISUAL	4	196

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cilindro da Caçamba	Pistões	TRANSFERIR A FORÇA GERADA PELO POTENCIAL HIDRÁULICO AO TRABALHO	NÃO TRANSFERE A FORÇA	PISTÃO TRAVADO	PRESSÃO DO FLUIDO DESREGULADA	4	PARADA NO SISTEMA DA CAÇAMBA	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						REPARO DANIFICADO	7		9	INSPEÇÃO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	1	63
					PISTÃO DESGASTADO	ATRITO COM A CARÇAÇA	4	7	NÃO HÁ	RUIÍDO	4	112	
		Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICO E DESGASTE DO CILINDRO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						APLICAÇÃO INCORRETA	4		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	160
						IMPUREZAS NO SISTEMA	4		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	192
		Carçaça	REVESTIR OS OUTROS COMPONENTES	NÃO REVESTI ADEQUADAMENTE	CARÇAÇA DESGASTADA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO DO DESEMPENHO DA CAÇAMBA	6	NÃO HÁ	RUIÍDO	6	108
						ATRITO COM O PISTÃO	3		6	NÃO HÁ	RUIÍDO	6	108
		Parafuso	FIXAR COMPONENTES E CILINDRO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	DESREGULARIDADE NA PRESSÃO HIDRÁULICA	4	DESREGULAR A LINHA ATÉ O ATUADOR DA CAÇAMBA	3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	9	108
		Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	DESREGULAR A LINHA ATÉ O ATUADOR DA CAÇAMBA	3	NÃO HÁ	VISUAL	8	72

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D														
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cilindro da Lança	Pistões	TRANSFERIR A FORÇA GERADA PELO POTENCIAL HIDRÁULICO AO TRABALHO	NÃO TRANSFERE A FORÇA	PISTÃO TRAVADO	PRESSÃO DO FLUIDO DESREGULADA	4	PARADA NO SISTEMA DA LANÇA	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72	
						REPARO DANIFICADO	7		9	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	RUÍDO	1	63	
					PISTÃO DESGASTADO	ATRITO COM A CARÇAÇA	3	REDUÇÃO DO DESEMPENHO DA LANÇA	7	NÃO HÁ	RUÍDO	4	84	
		Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO		ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICO E DESGASTE DO CILINDRO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
							TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
							IMPUREZAS NO SISTEMA	6		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	288
		Carçaça	REVESTIR OS OUTROS COMPONENTES	NÃO REVESTE ADEQUADAMENTE		CARÇAÇA DESGASTADA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DA LANÇA	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
						CARÇAÇA AQUECIDA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DA LANÇA	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
		Parafuso	FIXAR COMPONENTES E CILINDRO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	DESREGULARIDADE NA PRESSÃO HIDRÁULICA	4	DESREGULAR A LINHA ATÉ O ATUADOR DA LANÇA	3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	9	108	
		Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	DESREGULAR A LINHA ATÉ O ATUADOR DA LANÇA	3	NÃO HÁ	VISUAL	8	72	

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cilindro de Levantamento	Pistões	TRANSFERIR A FORÇA GERADA PELO POTENCIAL HIDRÁULICO AO TRABALHO	NÃO TRANSFERE A FORÇA	PISTÃO TRAVADO	PRESSÃO DO FLUIDO DESREGULADA	4	PARADA DO SISTEMA DE LEVANTAMENTO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						REPARO DANIFICADO	7		9	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	1	63
					PISTÃO DESGASTADO	ATRITO COM A CARÇAÇA	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO LEVANTAMENTO	8	NÃO HÁ	RUÍDO	4	96
		Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICO E DESGASTE DO CILINDRO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
						IMPUREZAS NO SISTEMA	6		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	288
		Carçaça	REVESTIR OS OUTROS COMPONENTES	NÃO REVESTE ADEQUADAMENTE	CARÇAÇA DESGASTADA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO LEVANTAMENTO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
					CARÇAÇA AQUECIDA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO LEVANTAMENTO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
		Parafuso	FIXAR COMPONENTES E CILINDRO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	DESREGULARIDADE NA PRESSÃO HIDRÁULICA	4	DESREGULAR A LINHA ATÉ O ATUADOR DE LEVANTAMENTO	3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	9	108
		Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	DESREGULAR A LINHA ATÉ O ATUADOR DE LEVANTAMENTO	3	NÃO HÁ	VISUAL	8	72

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cilindro do Estabilizador	Pistões	TRANSFERIR A FORÇA GERADA PELO POTENCIAL HIDRÁULICO AO TRABALHO	NÃO TRANSFERE A FORÇA	PISTÃO TRAVADO	PRESSÃO DO FLUIDO DESREGULADA	4	PARADA DO ESTABILIZADOR	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						REPARO DANIFICADO	7		INSPEÇÃO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	1	63	
					PISTÃO DESGASTADO	ATRITO COM A CARÇAÇA	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO ESTABILIZADOR	9	NÃO HÁ	RÚIDO	4	108
		Retentores	CILINDRO DA CAÇAMBA	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICO E DESGASTE DO CILINDRO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
						IMPUREZAS NO SISTEMA	6		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	288
		Carçaça	REVESTIR OS OUTROS COMPONENTES	NÃO REVESTE ADEQUADAMENTE	CARÇAÇA DESGASTADA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO ESTABILIZADOR	7	NÃO HÁ	RÚIDO	6	126
						CARÇAÇA AQUECIDA	3		6	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO ESTABILIZADOR	6	NÃO HÁ	RÚIDO
		Parafuso	FIXAR COMPONENTES E CILINDRO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	DESREGULARIDADE NA PRESSÃO HIDRÁULICA	4	DESREGULAGEM DA LINHA ATÉ O ATUADOR DE ESTABILIZAÇÃO	4	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	9	144
		Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3		4	NÃO HÁ	VISUAL	8	96

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D														
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cilindro de Giro	Pistões	TRANSFERIR A FORÇA GERADA PELO POTENCIAL HIDRÁULICO AO TRABALHO	NÃO TRANSFERE A FORÇA	PISTÃO TRAVADO	PRESSÃO DO FLUIDO DESREGULADA	4	PARADA DO SISTEMA DE GIRO	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64	
						REPARO DANIFICADO	7		8	INSPEÇÃO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	1	56	
					PISTÃO DESGASTADO	ATRITO COM A CARÇAÇA	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO GIRO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	4	72	
		Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO		ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICO E DESGASTE DO CILINDRO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
							TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
							IMPUREZAS NO SISTEMA	6		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	288
		Carçaça	REVESTIR OS OUTROS COMPONENTES	NÃO REVESTE ADEQUADAMENTE		CARÇAÇA DESGASTADA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO GIRO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
						CARÇAÇA AQUECIDA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO GIRO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
		Parafuso	FIXAR COMPONENTES E CILINDRO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	DESREGULARIDADE NA PRESSÃO HIDRÁULICA	4	DESREGULAGEM NA LINHA ATÉ O ATUADOR DE GIRO	3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	9	108	
		Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	DESREGULAGEM NA LINHA ATÉ O ATUADOR DE GIRO	3	NÃO HÁ	VISUAL	8	72	

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D														
SISTEMA HID.	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cilindro de Inclinação	Pistões	TRANSFERIR A FORÇA GERADA PELO POTENCIAL HIDRÁULICO AO TRABALHO	NÃO TRANSFERE A FORÇA	PISTÃO TRAVADO	PRESSÃO DO FLUIDO DESREGULADA	4	PARADA DO SISTEMA DE INCLINAÇÃO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72	
						REPARO DANIFICADO	7		9	INSPEÇÃO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	1	63	
					PISTÃO DESGASTADO	ATRITO COM A CARÇAÇA	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DE INCLINAÇÃO	8	NÃO HÁ	RUÍDO	4	96	
		Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICO E DESGASTE DO CILINDRO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72	
						TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8			8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
						IMPUREZAS NO SISTEMA	6			8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	288
		Carçaça	REVESTIR OS OUTROS COMPONENTES	NÃO REVESTI ADEQUADAMENTE	CARÇAÇA DESGASTADA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DE INCLINAÇÃO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108	
					CARÇAÇA AQUECIDA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DE INCLINAÇÃO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108	
		Parafuso	FIXAR COMPONENTES E CILINDRO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	DESREGULARIDADE NA PRESSÃO HIDRÁULICA	4	DESREGULAGEM DA LINHA ATÉ O ATUADOR DE INCLINAÇÃO	3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	9	108	
		Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	DESREGULAGEM DA LINHA ATÉ O ATUADOR DE INCLINAÇÃO	3	NÃO HÁ	VISUAL	8	72	

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D														
SISTEMA HID.	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cilindro do Braço	Pistões	TRANSFERIR A FORÇA GERADA PELO POTENCIAL HIDRÁULICO AO TRABALHO	NÃO TRANSFERE A FORÇA	PISTÃO TRAVADO	PRESSÃO DO FLUIDO DESREGULADA	4	PARADA NO SISTEMA DO BRAÇO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72	
						REPARO DANIFICADO	7		9	INSPEÇÃO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	1	63	
					PISTÃO DESGASTADO	ATRITO COM A CARÇAÇA	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO BRAÇO	7	NÃO HÁ	RUÍDO	4	84	
		Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO		ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICO E DESGASTE DO CILINDRO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
							TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
							IMPUREZAS NO SISTEMA	6		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	288
		Carcaça	REVESTIR OS OUTROS COMPONENTES	NÃO REVESTI ADEQUADAMENTE		CARÇAÇA DESGASTADA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO BRAÇO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
						CARÇAÇA AQUECIDA	ATRITO COM O PISTÃO	3	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO BRAÇO	6	NÃO HÁ	RUÍDO	6	108
		Parafuso	FIXAR COMPONENTES E CILINDRO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	DESREGULARIDADE NA PRESSÃO HIDRÁULICA	4	DESREGULAGEM NA LINHA ATÉ O ATUADOR DO BRAÇO	3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	9	108	
		Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	DESREGULAGEM NA LINHA ATÉ O ATUADOR DO BRAÇO	3	NÃO HÁ	VISUAL	8	72	

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Comando Hidráulico da Bomba	Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICA PARA REALIZAÇÃO DE TRABALHO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
						IMPUREZAS NO SISTEMA	9		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432
		Placas	SUSTENTA OS CAMINHOS DA LINHA HIDRÁULICA	NÃO SUSTENTA CORRETAMENTE	PLACA FADIGADA	FIXADORES COM TORQUE INADEQUADO	6	FLUXO IRREGULAR DE FLUIDO NO SISTEMA	3	NÃO HÁ	VISUAL	9	162
						PRESSÃO DESREGULADA NA LINHA	4		3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	5	60
					PLACA FRATURADA	PRESSÃO DESREGULADA NA LINHA	4	FLUXO IRREGULAR DE FLUIDO NO SISTEMA	4	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	5	80
						MONTAGEM INCORRETA	7		4	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	6	168

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Comando Hidráulico da Bomba	Placas	SUSTENTA OS CAMINHOS DA LINHA HIDRÁULICA	NÃO SUSTENTA CORRETAMENTE	PLACA FRATURADA	MONTAGEM INCORRETA	7	FLUXO IRREGULAR DE FLUIDO NO SISTEMA	4	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	6	168
		Parafuso	FIXAR AS PLACAS NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	TORQUE INADEQUADO NO FIXADOR	DESORIENTAÇÃO NO CAMINHO DO FLUXO HIDRÁULICO	6	3	NÃO HÁ	VISUAL	9	162
						ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA		4	3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	5	60
		Cubo	AJUDA A ROTACIONAR O EIXO DA BOMBA	NÃO AJUDA A ROTACIONAR O EIXO	CUBO TRAVADO	FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	NÃO HAVERÁ BOMBEAMENTO DO FLÚIDO	5	8	LUBRIFICAÇÃO A CADA 500 HORAS DE TRABALHO	VISUAL E RUÍDO	4	160
								6	8	NÃO HÁ	RUÍDO	4	192

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras da Lança	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO ATE O COMANDO DA LANÇA	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA EM PONTOS NA LINHA DA LANÇA	6	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	6	324
						AR NO SISTEMA	2		6	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	72
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PARADA DA LANÇA	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras do Levantamento	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO ATE O COMANDO DE LEVANTAMENTO	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA EM PONTOS NA LINHA DE LEVANTAMENTO	6	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	324
						AR NO SISTEMA	2		6	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	72
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PARADA NO SISTEMA DE LEVANTAMENTO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		9	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	486

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID.	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras do Estabilizador	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO ATE O COMANDO DE ESTABILIZAÇÃO	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA EM PONTOS DA LINHA DO ESTABILIZADOR	6	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	324
						AR NO SISTEMA	2		6	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS		INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PARADA DO ESTABILIZADOR	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		9	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS		VISUAL	6
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras de Giro	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO ATE O COMANDO DE GIRO	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA EM PONTOS DA LINHA DE GIRO	6	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	324
						AR NO SISTEMA	2		6	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS		INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DE GIRO	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS		VISUAL	6

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras de Inclinação	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO ATE O COMANDO DE INCLINAÇÃO	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA EM PONTOS DA LINHA DE INCLINAÇÃO	6	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	324
						AR NO SISTEMA	2		6	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	72
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PARADA NO SISTEMA DE INCLINAÇÃO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		9	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	486
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras do Braço	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO ATE O COMANDO DO BRAÇO	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA EM PONTOS DA LINHA DO BRAÇO	6	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	324
						AR NO SISTEMA	2		6	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	72
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PARADA DO SISTEMA DE BRAÇO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		9	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	486

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HIDRÁULICO	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras da Caçamba	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO ATE O COMANDO DA CAÇAMBA	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA EM PONTOS DA LINHA DA CAÇAMBA	6	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	334
						AR NO SISTEMA	2		6	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	72
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PARADA NO SISTEMA DA CAÇAMBA	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		9	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	486
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mangueiras da Bomba Hidráulica	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO DA BOMBA HIDRÁULICA PARA O SISTEMA	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	DANOS À BOMBA	8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432
						AR NO SISTEMA	2		8	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	96
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DO SISTEMA POR CONTADA QUANTIDADE DE FLUIDO DISTRUIDO	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Válvulas Reguladoras	Válvula Reguladora	MANTER A PRESSÃO ADEQUADA NO SISTEMA	NÃO MANTEM A PRESSÃO ADEQUADA	VÁLVULA OBSTRUÍDA	ACUMULAÇÃO DE PARTICULADOS DO AR NAS VIAS	9	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA DO SISTEMA	7	NÃO HÁ	VISUAL	4	252
						ACUMULAÇÃO DE IMPUREZAS DA LINHA NAS VIAS	8		7	NÃO HÁ	VISUAL	5	280
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Filtro	Cartucho do Filtro	PROTEGE O ELEMENTO FILTRANTE DE AVARIAS	NÃO PROTEGE O ELEMENTO FILTRANTE	CARÇAÇA DEFORMADA	FORMA DE MANUSEIO INADEQUADA	3	DANOS AO ELEMENTO FILTRANTE	5	TROCA DO FILTRO A CADA 500 HORAS	VISUAL	2	30
		Papel Especial (Elemento Filtrante)	RETER OS CONTAMINANTES	NÃO RETÊM OS CONTAMINANTES	PAPEL ROMPIDO	EXCESSO DE CONTAMINANTE	6	CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA POR RESÍDUOS E PERDA DE FORÇA DO SISTEMA	6	TROCA DO FILTRO A CADA 500 HORAS	VISUAL	8	288
						ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4		6	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	48
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Bomba Hidráulica	Válvulas	Distribuir o fluido hidráulico pelo sistema	NÃO DISTRIBUI O FLUIDO	VÁLVULA OBSTRUÍDA	ACUMULAÇÃO DE PARTICULADOS NAS VIAS	8	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA DO SISTEMA	6	NÃO HÁ	VISUAL	4	192
		Rolamento	FACILITAR A ROTAÇÃO DO EIXO	NÃO FACILITA A ROTAÇÃO DO EIXO	ROLAMENTO FADIGADO	TRABALHO DESREGULADO DA BOMBA	6	VIBRAÇÕES, RUÍDOS E AQUECIMENTO INDESEJADO DO SISTEMA	4	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	4	96
					ROLAMENTO FRATURADO	MONTAGEM INCORRETA	8	VIBRAÇÕES, RUÍDOS E AQUECIMENTO INDESEJADO DO SISTEMA	6	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	4	192

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID.	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Bomba Hidráulica	Acoplamento	UNIR O EIXO À BOMBA	NÃO UNE COM EFICIÊNCIA	ACOPLAMENTO DEFORMADO	MONTAGEM INADEQUADA OU APLICAÇÃO INCORRETA	6	NÃO TRANSMITE O TORQUE NECESSÁRIO À BOMBA	6	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	3	108
					ACOPLAMENTO FOLGADO	ERRO NA FIXAÇÃO	4	NÃO TRANSMITE O TORQUE NECESSÁRIO À BOMBA	6	NÃO HÁ	VISUAL	2	48
		Eixo	GUIA A ROTAÇÃO DO MOTOR PARA A BOMBA HIDRÁULICA	NÃO GUIA A ROTAÇÃO CORRETAMENTE	EIXO DESALINHADO	MONTAGEM INADEQUADA	2	NÃO TRANSMITE O TORQUE NECESSÁRIO À BOMBA	6	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	3	36
					EIXO FRATURADO	EXIGENCIA DE CARGA EM EXCESSO	7	BOMBA DEIXA DE FUNCIONAR	8	NÃO HÁ	INDICADOR NA CABINE DO OPERADOR	5	280
		Placas	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	PLACA FADIGADA	FIXADORES COM TORQUE INADEQUADO	6	VIBRAÇÃO, RUÍDOS E AQUECIMENTO INDESEJADOS NO SISTEMA	6	NÃO HÁ	VISUAL	9	324
						PRESSÃO DESREGULADA NA LINHA	4		6	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	5	120
					PLACA FRATURADA	PRESSÃO DESREGULADA NA LINHA	4	BOMBA DEIXA DE FUNCIONAR	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	5	160
						MONTAGEM INCORRETA	7		8	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	6	336
		Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICA PARA REALIZAÇÃO DE TRABALHO	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
						IMPUREZAS NO SISTEMA	9		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HD	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Tanque Hidráulico	Tanque	ARMAZENAR O FLUIDO HIDRÁULICO	NÃO ARMAZENAR CORRETAMENTE O FLUIDO	TANQUE FURADO	IMPACTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DURANTE O TRABALHO	1	DIMINUIÇÃO DO NÍVEL DE FLUIDO HIDRÁULICO NO EQUIPAMENTO	8	NÃO HÁ	VISUAL	3	24
					TANQUE SUJO	SUJEIRA NO TANQUE	5	CONTAMINAÇÃO DO FLUIDO HIDRÁULICO	5	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	4	100
					TANQUE DEFORMADO	DIFERENÇA DE PRESSÃO	2	ALTERAÇÃO DA PRESSÃO INTERNA DO SISTEMA	5	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	20
		Tampa	MANTER A PRESSÃO ADEQUADA NO TANQUE	NÃO MANTEM A PRESSÃO ADEQUADA	TAMPA DESGASTADA	MANUSEIO INCORRETO	EVASÃO DO FLUIDO HIDRÁULICO	1	7	NÃO HÁ	VISUAL	3	21
						MUITO TEMPO SEM EXECUTAR A TROCA		5		7	NÃO HÁ	VISUAL	4
		Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO DO TANQUE HIDRÁULICO PARA O SISTEMA	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA NO SISTEMA E TRANSPORTE DE MENOR QUANTIDADE DE FLUIDO	9	5	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	270
						AR NO SISTEMA		2		5	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6
					MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64	
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	6	432

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Posicionador da Caçamba	Placas	AUXILIAR NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	PLACA FADIGADA	FIXADORES COM TORQUE INADEQUADO	6	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DA CAÇAMBA	6	NÃO HÁ	VISUAL	9	324
						PRESSÃO DESREGULADA NA LINHA	4		6	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	48
					PLACA FRATURADA	PRESSÃO DESREGULADA NA LINHA	4	CAÇAMBA PARA DE FUNCIONAR	9	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	72
						MONTAGEM INCORRETA	7		9	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	4	252
		Pinos	UNIR AS ARTICULAÇÕES DA CAÇAMBA	NÃO UNE AS ARTICULAÇÕES	PINO DEFORMADO	ERRO DE MONTAGEM	7	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DA CAÇAMBA	2	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	4	56
						FORÇAS CÍCLICAS DE TRABALHO	6		2	NÃO HÁ	VISUAL	7	84

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Posicionador da Caçamba	Retentores	IMPEDIR O VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICA PARA REALIZAÇÃO DE TRABALHO	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64
						TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
						IMPUREZAS NO SISTEMA	9		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432
		Parafuso	FIXAR AS PLACAS NA ESTRUTURA PRINCIPAL	NÃO FIXA DE FORMA IDEAL	PARAFUSO DEFORMADO	TORQUE INADEQUADO NO FIXADOR	6	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DA CAÇAMBA	3	NÃO HÁ	VISUAL	9	162
						ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4		3	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	24
		Porca	AUXILIAR NA FIXAÇÃO DO COMPONENTE	NÃO AUXILIA CORRETAMENTE NA FIXAÇÃO	PORCA DESGASTADA PREMATURAMENTE	TORQUE INADEQUADO NO FIXADOR	6	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DA CAÇAMBA	3	NÃO HÁ	VISUAL	9	162
						ERRO DE MONTAGEM	2		3	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	4	24

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROSCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Grupo das Linhas Hidráulicas	Grampos	UNIR ELEMENTOS DA LINHA HIDRÁULICA	NÃO UNE OS ELEMENTOS DE FORMA ADEQUADA	GRAMPO FOLGADO	FOLGA NOS PONTOS DE FIXAÇÃO	5	DANIFICAR OUTROS ELEMENTOS DEVIDO EXPOSIÇÃO À OSCILAÇÕES	4	NÃO HÁ	VISUAL E RUÍDO	5	100
					GRAMPO FRATURADO	ESFORÇOS EXCESSIVOS VINDO DA LINHA HIDRÁULICA	3	PERDA DE UMA DETERMINANDA FUNÇÃO DO SISTEMA	7	NÃO HÁ	VISUAL E RUÍDO	7	147
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Espaçador	Espaçador	DETERMINAR A DISTÂNCIA ADEQUADA ENTRE ELEMENTOS	NÃO DETERMINA A DISTÂNCIA ADEQUADA	ESPAÇADOR DESGASTADO	ATRITO COM O ELEMENTO DE FIXAÇÃO	3	COLISÃO INDESEJADA ENTRE ELEMENTOS DO SISTEMA	5	NÃO HÁ	RUÍDO	6	90
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Ilhó	Ilhó	ORIENTAR AS LINHAS HIDRÁULICAS	NÃO ORIENTA CORRETAMENTE	ILHÓ DESALINHADO	FORÇA HIDRÁULICA EXCESSIVA	6	REDUÇÃO NO DESEMPENHO DE UMA DETERMINADA PARTE DA FUNÇÃO	2	NÃO HÁ	VISUAL E RUÍDO	6	72
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Cotovelo	Cotovelos	DIRECIONAR O FLUXO DO FLUIDO HIDRÁULICO	NÃO DIRECIONA O FLUXO CORRETAMENTE	COTOVELO ROMPIDO	IMPUREZAS NO COTOVELO	9	REDUÇÃO OU PARADA NO DESEMPENHO DE UMA DETERMINADA PARTE DA FUNÇÃO	7	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	9	567
						AR NO SISTEMA	2		7	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	84
					COTOVELO OBSTRUÍDO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	4	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	32	
						IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9	4	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA NA ÁREA DE OBSTRUÇÃO	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	216

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Mola	Molas	ABSORVER OSCILAÇÕES DO SISTEMA	NÃO ABSORVE AS OSCILAÇÕES CORRETAMENTE	MOLA QUEBRADA	EXCESSO DA ATIVIDADE EXERCIDA	7	VIBRAÇÃO E RUÍDO DIRECIONADOS DIRETAMENTE AO SISTEMA	3	NÃO HÁ	VISUAL E RUÍDO	6	126
					MOLA FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	SISTEMA COM MAIOR EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS OSCILATÓRIOS	2	NÃO HÁ	VISUAL	8	48
					MOLA AMOLECIDA	AQUECIMENTO DA MOLA DEVIDO AO ESFORÇO	7	SISTEMA COM MAIOR EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS OSCILATÓRIOS	2	NÃO HÁ	DETECÇÃO TÉRMICA	6	84
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Calço	Calços	NIVELAR A LINHA HIDRÁULICA EM RELAÇÃO A TODO O SISTEMA	NÃO NIVELA A LINHA	CALÇO FOLGADO	MÁ FIXAÇÃO NA ESTRUTURA	5	FLUIDO HIDRÁULICO TRANSPORTA COM PRESSÃO IRREGULAR DE TRABALHO	5	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	4	100
						ESFORÇOS EXCESSIVOS VINDO DA LINHA HIDRÁULICA	3		5	NÃO HÁ	VISUAL E RUÍDO	7	105
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Comando Hidráulico do Operador	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO DO TANQUE HIDRÁULICO PARA REALIZAÇÃO DO COMANDO	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	DIFICULDADE DE REALIZAÇÃO DE UM DETERMINADO SERVIÇO	7	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	378
						AR NO SISTEMA	2		7	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	84
						MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64
							IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA	9	8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432
		Haste			AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	MAIOR EXPOSIÇÃO A COLISÃO COM OUTROS PONTOS DO SISTEMA	3	NÃO HÁ	VISUAL

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Bomba de Giro	Cilindro da Bomba	ENVOLVE TODOS OS COMPONENTES DA BOMBA	NÃO CONSEGUE ENVOLVER CORRETAMENTE	CILINDRO DESGASTADO	DESALINHAMENTO DO SISTEMA	6	TRAVAR A BOMBA	8	NÃO HÁ	VISUAL	4	192
						ERRO DE MONTAGEM	6		8	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	7	336
		Buchas	AJUSTAR A UNIÃO DO CILINDRO COM A PLACA	NÃO AJUSTA A UNIÃO	BUCHA DESGASTADA	FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	3	REDUZ A EFICIENCIA DA BOMBA	7	LUBRIFICAÇÃO A CADA 500 HORAS DE TRABALHO	VISUAL E RUIDO	4	84
						MONTAGEM INCORRETA	9		7	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	8	504
		Pinos	AUXILIAR NA UNIÃO DO CILINDRO COM A PLACA	NÃO AUXILIA NA UNIÃO	PINO DEFORMADO	ERRO DE MONTAGEM	7	REDUZ A EFICIENCIA DA BOMBA	7	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	8	392
						FORÇAS CÍCLICAS DE TRABALHO	6		7	NÃO HÁ	VISUAL	8	336
		Molas	ABSORVER OSCILAÇÕES DO SISTEMA	NÃO ABSORVE AS OSCILAÇÕES CORRETAMENTE	MOLA QUEBRADA	EXCESSO DA ATIVIDADE EXERCEIDA	7	VIBRAÇÃO E RUIDO DIRECIONADOS DIRETAMENTE AO SISTEMA	6	NÃO HÁ	VISUAL E RUIDO	7	294
					MOLA FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	SISTEMA COM MAIOR EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS OSCILATÓRIOS	4	NÃO HÁ	VISUAL	8	96
					MOLA AMOLECIDA	AQUECIMENTO DA MOLA DEVIDO AO ESFORÇO	7	SISTEMA COM MAIOR EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS OSCILATÓRIOS	4	NÃO HÁ	DETECÇÃO TÉRMICA	6	168

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Bomba de Giro	Cilindro da Bomba	ENVOLVE TODOS OS COMPONENTES DA BOMBA	NÃO CONSEGUE ENVOLVER CORRETAMENTE	CILINDRO DESGASTADO	DESALINHAMENTO DO SISTEMA	6	TRAVAR A BOMBA	8	NÃO HÁ	VISUAL	4	192
						ERRO DE MONTAGEM	6		8	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	7	336
		Retentores	IMPEDIRO VAZAMENTO DE FLUIDO	NÃO IMPEDE O VAZAMENTO DE FLUIDO	RETENTOR ESTOURADO	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA	4	PERDA DE POTENCIAL HIDRÁULICA PARA REALIZAÇÃO DE TRABALHO	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64
						TIPO DE APLICAÇÃO INCORRETA	8		8	INSPEÇÃO DO KIT DE REPARO A CADA 4000 HORAS	VISUAL	5	320
						IMPUREZAS NO SISTEMA	9		8	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432
		SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Comando Hidráulico do Operador	Mangueiras	TRANSPORTAR O FLUIDO HIDRÁULICO DO TANQUE HIDRÁULICO PARA REALIZAÇÃO DO COMANDO	NÃO FAZ O TRANSPORTE ADEQUADO DO FLUIDO	MANGUEIRA OBSTRUÍDA	IMPUREZAS NA MANGUEIRA	9	DIFICULDADE DE REALIZAÇÃO DE UM DETERMINADO SERVIÇO	7	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL
AR NO SISTEMA	2							7	SANGRAMENTO DO SISTEMA A CADA 2000 HORAS		INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	6	84
MANGUEIRA ROMPIDA	ALTA PRESSÃO NA LINHA HIDRÁULICA						4	8	NÃO HÁ	INDICADOR DE PRESSÃO NA CABINE DO OPERADOR	2	64	
	IMPUREZAS NA LINHA HIDRÁULICA						9	8	INCAPACIDADE DE REALIZAÇÃO DE UM DETERMINADO SERVIÇO	TROCA DO FLUIDO HIDRÁULICO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	432

Continuação Apêndice A – FMEA do sistema hidráulico da CAT 416D (AUTOR, 2018)

FMEA - RETROESCAVADEIRA CAT 416D													
SISTEMA HID	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	CAUSAS DA FALHA	O	EFEITO	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Comando Hidráulico do Operador	Haste	AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA	NÃO AUXILIA NA ESTRUTURAÇÃO	HASTE FLAMBADA	PONTO DE APOIO PREJUDICADO	3	MAIOR EXPOSIÇÃO A COLISÃO COM OUTROS PONTOS DO SISTEMA	3	NÃO HÁ	VISUAL	8	72
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Válvulas Auxiliares	Válvulas	DISTRIBUIR O FLUIDO HIDRÁULICO PELO SISTEMA	NÃO DISTRIBUI O FLUIDO	VÁLVULA OBSTRUÍDA	ACUMULAÇÃO DE PARTICULADOS NAS VIAS	7	AUMENTO DA PRESSÃO INTERNA DO SISTEMA	6	NÃO HÁ	VISUAL	4	168
SISTEMA HIDRÁULICO CAT 416D	Fluido hidráulico	Fluido Hidráulico	TRANSMITIR FORÇA E LUBRIFICAR OS ELEMENTOS INTERNOS DO SISTEMA	NÃO TRANSMITE FORÇA E NÃO LUBRIFICA	FLUIDO CONTAMINADO	MÁ FILTRAGEM DE FLUIDO DO SISTEMA	2	DANOS FÍSICAS AOS ELEMENTOS DO SISTEMA E MAU FUNCIONAMENTO DO MESMO	8	TROCA DO FILTRO A CADA 500 HORAS	VISUAL	6	96
						DEMORA NO INTERVALO DE TROCA DO FLUIDO	2		8	CONTROLE DE TROCA A CADA 500 HORAS	VISUAL	7	112
						EXPOSIÇÃO DO FLUIDO À CONTAMINANTES QUANDO ESTÁ SENDO FEITO SERVIÇOS NO SISTEMA	7		8	TROCA DO FLUIDO A CADA 2000 HORAS	VISUAL	6	336

