



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS DE ALBUQUERQUE RIBEIRO DE SÁ COSTA

METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE
APLICADA A SISTEMA DE DESSUFURIZAÇÃO DE GASES

FORTALEZA

2019

LUCAS DE ALBUQUERQUE RIBEIRO DE SÁ COSTA

METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA A
SISTEMA DE DESSUFURIZAÇÃO DE GASES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rômulo do Nascimento Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M.Sc. Renato Guerreiro Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C873m Costa, Lucas.
Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistema de Dessulfurização de Gases / Lucas Costa. – 2019.
122 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima.
Coorientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.
1. Manutenção Centrada em Confiabilidade. 2. Plano de manutenção. 3. disponibilidade. 4. Custo-benefício. I. Título.

CDD 621.3

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Rejande de Albuquerque, por sua imensa dedicação com os seus filhos e por todo o amor dado a nós durante nossas vidas. A minha namorada, Gabrielle, por me apoiar em todos os momentos difíceis que passamos juntos. Aos meus irmãos e familiares que me deram uma base familiar sólida e unida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Kleber de Araújo Lima pelo empenho em me ajudar a elaborar esse trabalho de conclusão de curso.

Ao meu grande amigo Cicero Fábio, quem esteve comigo desde o início do curso em todas as maratonas de estudo e as demais amizades que construir dentro do curso de engenharia elétrica.

Aos meus amigos do curso de Engenharia de Energia Renováveis Breno, Matheus, Vinícius e Lucas que contribuíram muito para enfrentar a nova fase que foi entrada na Universidade.

Aos meus grandes amigos de intercâmbio que moraram comigo por mais de um ano e passamos por muitos momentos juntos, onde nós sempre permanecemos muito unidos e apoiando uns aos outros.

Aos meus amigos de estágio, Kevyn, Afonso e Márcio que me ajudaram na elaboração desse estudo e se fazem pessoas solícitas a mim para ajudar e apoiar nas dificuldades da indústria.

Aos meus amigos do colégio sete de setembro que estiveram comigo durante toda a minha caminhada educacional e serviram como motivadores para continuar a busca pelo sucesso profissional.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Visão Organizacional do Sistema Elétrico.	15
Figura 2 – Visão Geral do Processo de MCC	29
Figura 3 – Gráfico Pareto em Termelétrica	31
Figura 4 – Árvore Lógica de Análises de Moubray	44
Figura 5 – Árvore Lógica de Análises de Smith e Hinchcliffe	48
Figura 6 – Mapa de Seleção de Tarefa	49
Figura 7 – Processo de Produção Termelétrica.	53
Figura 8 – Sistema de Dessulfurização de Gases - Estrutura Física.	54
Figura 9 – Sistema de Dessulfurização de Gases - Visão Geral do Processo.	56
Figura 10 – Proporcionalidade das Manutenções Realizadas.	57
Figura 11 – Custos de Manutenção 2017-2018	58
Figura 12 – Diagrama de Blocos Funcional.	62
Figura 13 – Levantamento de Funções e Falhas Funcionais.	64
Figura 14 – Levantamento de Modos de Falha e Causas das Falhas	66
Figura 15 – Distribuição das Tarefas entre os Subsistemas.	71
Figura 16 – Levantamento das Tarefas por Subsistema.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da Manutenção	22
Tabela 2 – Modelo de Planilha - Descrição da falha funcional	39
Tabela 3 – Modelo de Planilha - Modo de falha e Análise dos Efeitos	40
Tabela 4 – Prioridade de Ação de Acordo com a Consequência da Falha	41
Tabela 5 – Modelo de Planilha - Análise da Árvore Lógica	45
Tabela 6 – Modelo de Planilha - Seleção de Tarefas	47
Tabela 7 – Modelo de Planilha - Conferências das Tarefas	50
Tabela 8 – Diferenciação entre metodologia Clássica e Abreviada.	52
Tabela 9 – Planilha de Definição de Barreiras Etapa 2.1 - Sistema de Lubrificação.	59
Tabela 10 – Planilha de Definição de Barreiras Etapa 2.2 - Sistema de Lubrificação.	60
Tabela 11 – Esquemático de Definição das Barreiras.	61
Tabela 12 – Sistema de Dessulfurização de Gases.	63
Tabela 13 – Planilha de Funções e Falhas Funcionais - Sistema de Lubrificação.	65
Tabela 14 – Planilha de Modos de Falhas e Análise de Efeitos - Sistema de Lubrificação	67
Tabela 15 – Planilha de Análise de Árvore Lógica - Sistema de Lubrificação.	69
Tabela 16 – Planilha de Análise de Árvore Lógica - Sistema de Lubrificação (continuação).	70
Tabela 17 – Análise das Tarefas Corretivas Programadas.	72
Tabela 18 – Planilha de Seleção de Tarefas.	73
Tabela 19 – Planilha de Seleção de Tarefas (continuação).	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CLP	Controlador Lógico Programável
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Políticas Energéticas
CSA	Controle do Sistema Atomizador
CVU	Custo Variável Unitário
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
FGD	<i>Flue Gases Desulfurization</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effect and Criticality Analysis</i>
LTA	<i>Logic Tree Analysis</i>
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MIT	Motor de Indução Trifásico
MME	Ministério de Minas e Energia
MSG	<i>Maintenance Steering Group</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PLD	Preço de Liquidação de Diferenças
RCM	<i>Reability Centred Maintenance</i>
RTF	<i>Run to Fail</i>
SDA	<i>Spray Dry Absorber</i>
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SWBS	<i>System Work Breakdown Structure</i>
TEIFa	Taxa de indisponibilidade Forçada
TEIP	Taxa de indisponibilidade Programada
TMF	Tempo médio entre Falhas
UTE	Usina Termelétrica de Energia
VFD	<i>Variable Frequency Drive</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Motivação	12
1.2	Objetivos	13
1.3	Resultados Esperados	13
2	REGULAMENTAÇÃO DE SERVIÇO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	14
2.1	Organização do Sistema Elétrico	14
2.2	Impactos da Manutenção nos Lucro por Disponibilidade de uma Usina Termelétrica de Energia (UTE)	14
3	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	18
3.1	História da Manutenção	18
3.2	Classificação da Manutenção	21
3.2.1	<i>Manutenção Corretiva</i>	21
3.2.2	<i>Manutenção Preventiva</i>	23
3.2.3	<i>Manutenção Preditiva</i>	24
3.2.4	<i>Manutenção Detectiva</i>	24
3.3	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	25
3.3.1	<i>Conceitos e Benefícios da MCC</i>	25
3.4	Conceitos de Implantação da MCC	28
3.4.1	<i>Seleção do sistema de estudo e Definição das Fronteiras</i>	30
3.4.2	<i>Descrição do Sistema</i>	32
3.4.3	<i>Identificação das Funções, Desempenho e Falhas Funcionais</i>	33
3.4.4	<i>Modos de falhas, Causas e Efeitos</i>	35
3.4.4.1	<i>Análise de Falha e Efeito (FMEA)</i>	37
3.4.5	<i>Análise das Consequências das Falhas</i>	39
3.4.5.1	<i>Definições de Consequências das Falhas</i>	39
3.4.6	<i>Diagramas decisoriais e Seleção das Tarefas</i>	43
4	APLICAÇÃO DA MCC EM SISTEMA DE DESSUFURIZAÇÃO DE GASES	51
4.1	Definição da metodologia	51

4.2	Princípio de Funcionamento de Usina Termelétrica	52
4.2.1	<i>Sistema de Tratamento de Gases</i>	54
4.3	Primeira Etapa - Seleção do sistema de estudo e coleta de informações. .	56
4.4	Segunda Etapa - Definição das Barreiras do Sistema.	57
4.5	Terceira Etapa - Descrição e diagrama de Blocos.	58
4.6	Quarta Etapa - Identificação das Funções e falhas funcionais	63
4.7	Quinta Etapa - Modo de falha e Análise dos Efeitos	65
4.8	Sexta Etapa - Análise por Árvore Lógica	68
4.9	Sétima Etapa - Seleção das Tarefas	70
5	CONCLUSÕES	75
6	TRABALHOS FUTUROS	77
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICES	80
	APÊNDICE A – Planilhas Função e Falhas Funcionais	80
	APÊNDICE B – Matrix de Falhas Funcionais	87
	APÊNDICE C – Planilhas Modos de Falha e Análise dos Efeitos	94
	APÊNDICE D – Planilhas Análise da Árvore Lógica	105
	APÊNDICE E – Planilhas de Seleção de Tarefas	113

RESUMO

Atualmente, os setores industriais estão cada vez mais exigidos pela sociedade, tanto pela qualidade do produto, quanto pela velocidade de entrega. Isso provoca que as indústrias a operarem, na maioria das vezes, em seus limites de funcionamento. Esse fato acarreta grandes desafios para as equipes de manutenção, visto que devem proporcionar uma garantia de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma técnica de manutenção que se baseia na preservação da função dos equipamentos, portanto, além de lhes viabilizar um maior índice de disponibilidade e confiabilidade, propõe o alcance de um maior custo-benefício da manutenção. O trabalho apresenta diversos casos de sucesso de aplicação dessa técnica e propõe apresentar uma visão geral dos principais autores e consultores. Além disso, a técnica é aplicada em um sistema de dessulfurização de gases para a criação de um novo plano de manutenção, segundo as orientações de Smith e Hinchcliffe (2004). Como resultado do trabalho apresentado foi gerado um plano de manutenção para todo o sistema de dessulfurização de gases o qual foi analisado mais de sessenta equipamentos e foram criadas oitenta e seis tarefas de manutenção estratégicas.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade, Plano de manutenção, disponibilidade, Custo-benefício.

ABSTRACT

Nowadays, the industrial sector have to support a great demanding for society due to a quality of the product and delivery speed. Its makes the industrial plants operate, in most the time, on its operational limits. This fact create a great challenge to the maintenance crews, because their must to provide availability guarantees of the equipment. The *Reability Centred Maintenance* (RCM) is a maintenance technique based on the equipments function preservation, therefore, beyond it make possible to achieve better availability and confidence rates, it proposes to obtain a better maintenance cost-benefit. This monograph presents many successful cases with RCM application and proposes to introduce a overview of the principal authors and consultants. Moreover, it is applied a RCM technique in a desulfurization gases system to create a new maintenance plan. As a result, it was created a maintenance program to whole system of gases desulfurization and it was analyzed more than sixty equipments and it was created eighty six maintenance tasks.

Keywords: Reability Centred Maintenance, Maintenance Plan, Availability, Cost-benefit.

1 INTRODUÇÃO

A grande competição no ambiente empresarial tem, atualmente, influenciado grandes mudanças nos sistemas produtivos. Sobre essa questão, ocorre, ainda, uma maior exigência dos clientes quanto aos requisitos de qualidade dos produtos.

O uso de mais tecnologia nos sistemas produtivos aumenta a diversidade de equipamento e a pluralidade de sistemas. Isso acarreta, em geral, maior probabilidade de ocorrência de falha. Em virtude disto, a grande maioria das empresas tem enfatizado o trabalho de redução das falhas de seus equipamentos por serem bastante danosas à sua produtividade. Mobley (2004) afirma que uma performance eficaz e efetiva de todos os processos produtivos depende de sistemas confiáveis, que operem no melhor nível de seu desempenho projetado.

As falhas nos equipamentos de grandes indústrias, como, por exemplo, em uma Usina Termelétrica (UTE), pode apresentar grandes perdas econômicas, ambientais e até de vidas humanas uma vez que a produção de energia elétrica se utiliza de processos que acumulam e transformam grandes quantidades de energia. Assim sendo, a falha em apenas um equipamento de segurança pode provocar grandes explosões. O assunto manutenção em grandes indústrias produtoras de energia é ainda mais delicado visto que o sistema elétrico é totalmente interligado. A interrupção inesperada de fornecimento de energia pode desencadear consequências de proporções nacionais.

O contrato da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) quanto à indisponibilidade operacional de uma usina termelétrica dispõe sobre severas multas, as quais podem custar bem mais caro do que o reparo de um equipamento, mesmo em se tratando dos mais dispendiosos.

A função da manutenção mostra-se significativa em todos os segmentos industriais para propor melhorias nos quesitos segurança, integridade operacional, eficiência energética, qualidade do produto ou serviço, disponibilidade e confiabilidade.

Portanto, o ambiente econômico atual requer mudança quanto ao status da manutenção nas organizações ao propor que esta função deixe de representar apenas uma despesa necessária e se converta em uma ferramenta estratégica em prol das metas organizacionais. Para isso, o planejamento da manutenção deve ser eficiente e propor tarefas adaptáveis ao processo produtivo, de acordo com os interesses das empresas.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade MCC (RCM, em inglês) é a aplicação de uma metodologia que propõe estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado

sistema ou equipamento. Foi desenvolvida visando capacitar as empresas aéreas a elaborarem planos de manutenção de alta confiabilidade, conforme esse setor requer. A MCC tem como foco a preservação das funções dos equipamentos e dos sistemas e realiza uma avaliação das consequências de falhas para segurança, para o meio ambiente e para a produção.

Em face disto, o presente trabalho propõe a implantação da metodologia de manutenção Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em um dos sistemas que apresentam maior incidência de ações de manutenção não programadas na planta da UTE localizada no Ceará, visto que, além de sua grande importância operacional, apresenta também papel fundamental na regulação dos impactos da geração de energia a carvão ao meio ambiente.

1.1 Motivação

A manutenção é um dos setores industriais mais exigidos nos últimos anos. Isso decorre da crescente necessidade da produção sem interrupção para o pleno atendimento ao mercado. Para Smith e Hinchcliffe (2004) a manutenção tem posição estratégica nas indústrias de todos os setores. Dentre essas, o setor de produção de energia elétrica exige grande responsabilidade em seu serviço, uma vez que uma falha de operação pode interromper o fornecimento de energia elétrica para milhões de consumidores e gerar um prejuízo econômico gigantesco. As termelétricas são de grande relevância para a estabilidade de fornecimento de energia para o Brasil, visto ser a segunda matriz energética mais presente no País. De acordo com a resolução da ANEEL (2014) os detentores de contratos de produção de energia têm como parte de seu faturamento, além do despacho de energia elétrica, o fator de disponibilidade da planta para pronto atendimento ao requerimento do órgão regulamentador o Operador Nacional do Sistema Elétrico Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O fator de disponibilidade está integralmente atrelado aos lucros obtidos pelos grupos geradores.

A metodologia da MCC tem sido aplicada em grandes setores industriais críticos, visto que sua aplicação prevê as necessidades futuras da planta e, assim, proporciona um planejamento adequado. Portanto, a aplicação dessa metodologia em uma UTE, definitivamente, tem grande nos custos de manutenção e sua na taxa de disponibilidade e esse será o objeto de estudo do presente trabalho.

1.2 Objetivos

Objetivo geral desse estudo, além da pretensão de desenvolver conhecimentos em procedimentos de manutenção, é propor um plano de manutenção baseado na metodologia MCC para o sistema de dessulfurização de gases de uma UTE, a fim de evitar as constantes interrupções em seu funcionamento. O sistema tem por objetivo a retirada do enxofre dos gases provenientes da combustão na caldeira de modo que impeça a sua liberação na atmosfera. A falha de todo o sistema de dessulfurização pode ocasionar o desligamento da unidade, e, conseqüentemente, o aumento da indisponibilidade do complexo perante o ONS. Além de o seu pleno funcionamento ser de fundamental importância para a integridade de outros dispositivos no processo, é crucial para o cumprimento das leis ambientais que regulam a produção de energia da UTE. Esse sistema tem como função fundamental diminuir a emissão de gases tóxicos no meio ambiente. Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Demonstrar a finalidade da metodologia MCC e suas particularidades que justificam sua implantação.
2. Apresentar uma visão geral dos principais autores sobre os conceitos e desenvolvimento de manutenção no decorrer da história.
3. Utilizar a ferramenta de *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) para identificar os modos de falha de cada equipamento e classificá-las quanto as suas conseqüências sob os critérios de meio ambiente, da segurança, operacional e de custos econômicos.
4. Aplicar o melhor modelo estudado para implantação do plano de manutenção do sistema de *Spray Dry Absorber* (SDA) da usina de Pecém II.

1.3 Resultados Esperados

Com a conclusão desse estudo, espera-se contribuir não somente para a manutenção da referida usina, mas também para a de outras plantas da companhia que dispõem de processos semelhantes, bem como de outras unidades na mesma planta industrial. Além disso, espera-se disseminar a cultura da MCC dentro da empresa, podendo ser incentivada a ampliação do estudo em outros sistemas da usina.

Ademais, possibilitar o fácil acesso às informações operacionais e de manutenção de forma simples e direta para todos os funcionários da empresa.

2 REGULAMENTAÇÃO DE SERVIÇO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 Organização do Sistema Elétrico

O setor elétrico brasileiro apresenta, em seu atual modelo, uma estrutura desverticalizada, dividida em setores de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. O governo brasileiro criou, então, uma estrutura organizacional com uma esfera política e outra operacional.

A esfera política, centralizada pelo Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE), tem por função assessorar o Presidente da República para a criação de políticas nacionais e diretrizes de energia. Nessa mesma esfera, o Ministério de Minas e Energia (MME) contribui para o planejamento das implementações do Governo Federal e homologa as políticas energéticas em conjunto com as demais políticas públicas. Sob a coordenação do MME, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) avalia a continuidade de operação e segurança do fornecimento energético no Brasil. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) executa estudos para definição da matriz energética e planejamento da expansão do setor elétrico.

O setor operacional é composto pela ANEEL que é vinculada ao MME e tem como função de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia bem como estabelecer as tarifas para consumidores finais. O ONS trabalha sob a regulação da ANEEL e é responsável pela coordenação e operação do sistema e pelo despacho energético. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), também sob a orientação da ANEEL, administra os contratos de compra e venda de energia. A Figura 1 apresenta como os órgãos se organizam dentro do sistema.

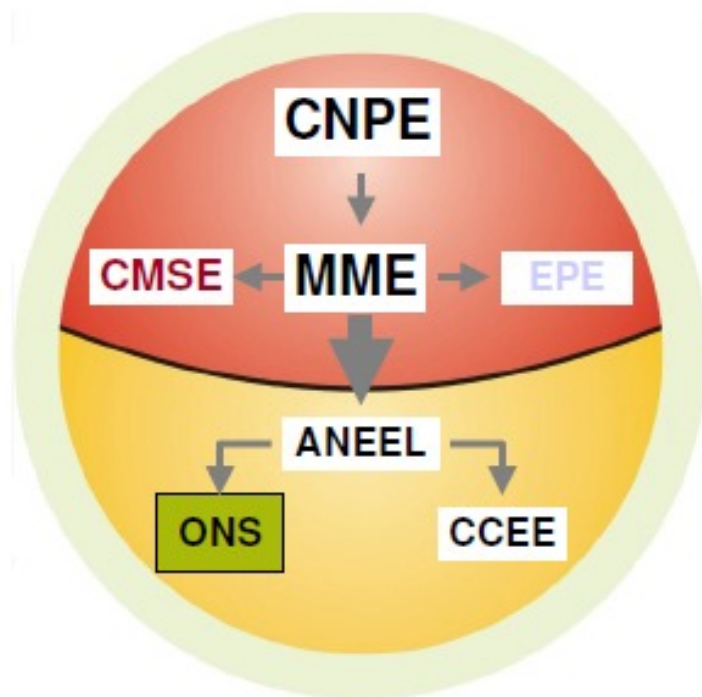
2.2 Impactos da Manutenção nos Lucro por Disponibilidade de uma UTE

A boa gestão da manutenção dos equipamentos no meio industrial é um ponto bastante relevante no impacto dos lucros, visto que pode promover redução da indisponibilidade dos equipamentos, permitindo, conseqüentemente, uma maior continuidade da linha de produção. Para as indústrias geradoras de energia, esse impacto pode ser bem maior do que para as indústrias de produção de bens de consumo porque, além dos custos já citados, os grupos geradores de energia estão submetidos a contratos que regulam o seu funcionamento, os quais preveem o pagamento de grandes multas em caso de inconsistências operacionais.

Uma UTE é regida por contratos de leilões regulamentados pela ANEEL, os quais dispõem sobre os requisitos operacionais a ser cumpridos. As usinas são remuneradas através de sua disponibilidade operacional, ou seja, estão à disposição do ONS para suprimir qualquer demanda do sistema elétrico, como também por meio de despacho de energia elétrica, quando estão em operação. A primeira forma de remuneração advém de um valor fixo acordado em contrato, ao passo que a segunda trata-se de uma parcela variável cujas flutuações dependem do Custo Variável Unitário (CVU), constituído pelo custo do carvão, cotação do dólar, fator de consumo e pelos custos de operação e manutenção.

As unidades geradoras, citadas anteriormente, podem sofrer penalidades financeiras caso não estejam em pleno estado operacional, porém o fato de estarem indisponíveis operacionalmente não significa que o grupo gerador será punido. O ONS classifica indisponibilidade sem custo de multa para o agente de geração quando o desligamento é proveniente de causas externas. No entanto, qualquer indisponibilidade decorrente de causas internas, sob responsabilidade dos agentes, geram penalidades de acordo com a ANEEL (2014)

Figura 1 – Visão Organizacional do Sistema Elétrico.



A indisponibilidade pode ser classificada em duas vertentes:

- Penalidade por falta de combustível aplicada à usina quando a falta de combustível provoca a saída de operação da planta. Essa medida visa forçar os agentes a manterem o seu estoque de combustível mesmo que não haja previsão de despacho.
- Ressarcimento por indisponibilidade: É a penalidade aplicada em função do não atendimento à disponibilidade contratual da usina.

Para o cálculo de ressarcimento por indisponibilidade a ANEEL define o cálculo da Taxa de indisponibilidade Programada (TEIP) e a Taxa de indisponibilidade Forçada (TEIFa), onde TEIP Consiste na soma de todos os eventos registrados no mês que foram solicitados com mais de 48h de antecedência ao ONS dividido por todas as horas do mês, enquanto que a TEIFa é na soma de todos os eventos registrados no mês que foram solicitados com menos de 48 horas de antecedência ao ONS dividido por todas as horas do mês exceto horas de paradas programadas. É levado em consideração, também, o Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) que é definido como o preço da energia gerada além dos contratos sob demanda que é liquidada no Mercado de curto prazo. Portanto, o cálculo se apresenta por:

$$TEIFa = \frac{\sum_{j=1}^{60} \sum_{i=1}^n Pi(HDF + HEDF)ij}{\sum_{j=1}^{60} \sum_{i=1}^n Pi(HDF + HEDF + HS + HDCE + HRD)ij}, \quad (2.1)$$

$$TEIP = \frac{\sum_{j=1}^{60} \sum_{i=1}^n Pi(HDP + HEDP)ij}{\sum_{j=1}^{60} \sum_{i=1}^n Pi(HP)ij}, \quad (2.2)$$

Onde:

i = índice da unidade geradora em operação comercial;

n = número de unidades geradoras em operação comercial;

j = índice do mês apurado;

P = potência instalada da unidade geradora;

HDP = número de horas de desligamento programado da unidade i no mês j;

HEDP = número de horas equivalentes de desligamento programado da unidade i no mês j (a unidade opera com potência nominal limitada, associada a uma condição programada);

HP número de horas do período de apuração considerado no mês j para a unidade i ;

HDF = número de horas de desligamento forçado da unidade i no mês j ;

HEDF = número de horas equivalentes de desligamento forçado da unidade i no mês j (a unidade opera com potência nominal limitada, associada a uma condição forçada);

HS = número de horas em serviço da unidade i no mês j (número de horas equivalentes em serviço somado ao número de horas em que a unidade opera sincronizada ao sistema, sem restrição de potência);

HRD = número de horas de reserva desligada da unidade i no mês j (a unidade não está em serviço por interesse sistêmico, apesar de disponível para operação); e

HDCE = número de horas desligada por condições externas da unidade i no mês j (a unidade não está em serviço por condições externas às suas instalações);

Então, o valor de disponibilidade ao final do mês é dado por:

$$Dips = 1 - (TEIPa + TEIP). \quad (2.3)$$

Logo, o valor da multa por indisponibilidade ou ressarcimento por indisponibilidade pode ser calculada por:

$$R.Indisp = DxGF(1 - Dips)(PLD - CVU). \quad (2.4)$$

Onde:

D : garantia física apurada para fins de verificação de lastro, em MW médios;

GF : Garantia física;

Portanto, observando todas as variáveis dos cálculos aliados aos altos valores monetários que envolvem a implantação e operação de uma usina termelétrica, esses fatos contribuem para que a indisponibilidade operacional causem grandes reduções nos lucros de uma UTE. Devido a isso, as usinas, em geral, tem grandes preocupações na elaboração dos planos de manutenção, pois esses são os principais artifícios para se evitar manutenção corretivas não programadas.

3 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

3.1 História da Manutenção

A NBR 5462 (1994), estabelece manutenção como o conjunto de ações administrativas e técnicas que se incluem as ações de supervisão com o objetivo de manter e repor um ativo em um estado o qual tenha capacidade de desempenhar sua função dentro dos padrões requeridos. Para Dhillon (2002), a manutenção tem como seu maior objetivo restabelecer, de forma rápida, o funcionamento pleno dos equipamentos usando os recursos disponíveis. Moubray (1997), simplesmente define manutenção como: "*é atividade que deve assegurar que o ativo continue a fazer o que o seus usuários querem o que ele faça*".

No início do século XIX a manutenção ainda não possuía grande importância para a indústria mundial. De maneira geral, as manutenções dos equipamentos eram executadas pelo mesmo efetivo de operação por ser considerada pelos empresários da época uma atividade secundária. Apenas, a partir da década de 1930, a expressão manutenção aparece com maior intensidade por meio das atividades militares que tinham como maior objetivo o pleno funcionamento das unidades de combate. No entanto, ainda no século XX importantes conceitos atrelados à manutenção não eram tratados como objetos de estudos. Moubray (1997), conceitua esse período como a primeira geração da manutenção.

A indústria dessa época não possuía grandes preocupações com indisponibilidade dos equipamentos porque a produtividade ainda não era prioridade. A concepção de prevenção da falha do equipamento ainda não havia se incorporado à cultura da maioria dos gestores. Da mesma forma, os equipamentos da época, em geral, eram bastante elementares e superdimensionado, proporcionando uma maior facilidade de manutenção e fazendo-se corriqueiramente desnecessária mão de obra especializada. Sendo assim, a modalidade de manutenção que foi estabelecida nessa época limitava-se apenas à reparação ou manutenção corretiva.

O período definido por Moubray (1997) como segunda geração iniciou-se após a Segunda Guerra mundial juntamente com a implantação da produção em série estabelecida pelo Fordismo, quando houve um aumento da pressão sobre a capacidade de suprimento das indústrias e, conseqüentemente, foram notadas as graves conseqüências financeiras acarretadas pela indisponibilidade das máquinas. Acrescenta-se que, durante esse período, os equipamentos tornaram-se mais numerosos e mais complexos, fato que tornava a dificuldade de manutenção ainda maior. Então, maiores preocupações foram despertadas não somente em corrigir as falhas,

mas também em evitá-las. Logo, foram incorporadas ao quadro de funcionários das indústrias equipes especializadas em manutenção. Salienta-se, também, que nessa mesma época houve o desenvolvimento da aviação comercial, o que originou ainda mais desafios à manutenção. Com isso, passou-se a desenvolver o conceito de manutenção preventiva juntamente com a manutenção corretiva.

Entretanto, a concepção de manutenção preventiva trabalhada nessa geração era apenas baseada no tempo ou em outros parâmetros que poderiam indicar o quanto os equipamentos foram utilizados. Estimativas como número de horas de operação ou quilômetros rodados eram os parâmetros usados para determinar a necessidade de realizar uma manutenção. As paradas de manutenção tinham uma abordagem generalista e eram elaboradas a partir da vivência e experiência dos montadores e mecânicos. Moubrey (1997) afirma que com essa modalidade de manutenção acarretou um aumento substancial na manutenção em comparação com outros custos operacionais.

Notou-se que o tempo gasto para diagnosticar as falhas era maior do que o de realização dos reparos. Por conseguinte, a falta de um estudo mais elaborado sobre as condições de falha dos equipamentos geravam grandes transtornos às indústrias. Esses fatos levaram ao desenvolvimento de sistemas de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Esse foi o primeiro passo para a implementação de estudos um pouco mais elaborados destinados à programação da manutenção, e bastante significativo para o aumento da eficiência dos processos de manutenção. Concomitantemente, ocorreu o surgimento de equipes especializadas para elaboração de estudos mais aprofundados que auxiliariam as equipes de planejamento de manutenção. A partir desses grupos de colaboração, deu-se início ao setor de engenharia de manutenção. Para Dhillon (2002) a engenharia de manutenção é definida como sendo

“A atividade de manutenção de equipamentos que desenvolve conceitos, critérios e requisitos técnicos nas fases de concepção e aquisição, para ser usada e mantida em um estado atual durante a fase de operação, para assegurar um suporte de manutenção eficaz do equipamento”.

A época descrita por Moubrey (1997) como a terceira geração foi marcada pelo desenvolvimento da globalização do mercado. Como resultado, cresceu significativamente a pressão por mais eficiência e produtividade sobre as empresas. De tal forma, as indústrias que operavam apenas durante o dia passaram a funcionar nos três turnos. Dessa maneira, os horários improdutivos das companhias que eram disponibilizados para realização de manutenções já não existiam mais. Exigindo melhores estratégias de intervenção e controle do estado de

funcionamento das máquinas pelas equipes de manutenção. Essa época foi marcada pelo aprimoramento de novas tecnologias e novas pesquisas.

Com a busca incessante por alta produtividade e por sistemas mais rápidos, foram incorporados à produção sistemas ainda mais automatizados. A automação acarretou para a indústria grandes efeitos positivos, como, por exemplo, maior qualidade e precisão nos processos, devido à redução da probabilidade de erros humanos. Contudo, a automação industrial contribuiu para que pequenas falhas resultassem em consequências operacionais mais complexas. Para Kardec e Nascif (2009) o desenvolvimento da automação na indústria foi um importante indicativo para a necessidade de sistemas com alto nível de disponibilidade e com maior confiabilidade. O monitoramento das condições dos equipamentos e o uso de tecnologias mais avançadas foram alguns dos grandes avanços necessários ocorridos nesse ciclo.

Moubray (1997) a indisponibilidade dos ativos refletia grandes efeitos no aumento dos custos operacionais e na capacidade de produção e entrega de serviço de qualidade para os clientes. Portanto, a atenção com disponibilidade se tornou um ponto ainda mais importante para a maioria das indústrias em um período de maior pressão do mercado. Em resumo, quando da explosão da globalização, a elevada produtividade das grandes empresas e a necessidade de permanecer no mercado com valores e qualidade de serviço de alta competitividade estavam cada vez mais submetidas ao pleno funcionamento do maquinário. Portanto, nesse período foi implementado um novo modelo de manutenção baseada na condição do equipamento ou manutenção preditiva.

A decisão de qual método de manutenção seria usado para cada equipamento tornou-se uma tarefa bastante difícil para os engenheiros e para as equipes de manutenção, tendo em vista que a adoção equivocada de um método poderia implicar novos problemas, maior índice de indisponibilidade ou mesmo a quebra inesperada do equipamento, além da possibilidade do aumento de custos de reparo dada a probabilidade de paradas desnecessárias para realização manutenções.

Diante do grande desafio de estabelecer o melhor tipo de manutenção para determinado equipamento foi desenvolvido a técnica de decisão de manutenção que baseia-se na disponibilidade e confiabilidade do sistema, o MCC. Ainda na terceira geração, segundo Kardec e Nascif (2009), o processo de MCC já era implantado nas indústrias com o apoio do setor aeronáutico.

O período chamado de quarta geração por Kardec e Nascif (2009), a disponibilidade

e confiabilidade tornaram-se os parâmetros mais importantes no setor industrial. As práticas de análises de falhas consagraram-se como uma metodologia capaz de melhorar o desempenho dos equipamentos.

À medida que as equipes procuravam reduzir as intervenções nos equipamentos, as práticas de manutenção preventivas e corretivas tiveram reduções significativas. Por outro lado, as manutenções preditivas foram aprimoradas e se tornaram cada vez mais utilizadas. Desse modo, a MCC tornou-se ainda mais usada para definição das estratégias dos setores de manutenção em industrial por todo o mundo. A Tabela 1 mostra de forma resumida as principais evoluções da manutenção em cada geração.

3.2 Classificação da Manutenção

3.2.1 *Manutenção Corretiva*

De acordo com Kardec e Nascif (2009) a manutenção corretiva foi a primeiro conceito de manutenção desenvolvido pela indústria. Sua concepção não necessariamente foi criada, pois intuitivamente no instante em que ocorre a falha do equipamento os responsáveis tentavam reparar para que esse retornasse a operar. Apesar de antiga, essa é a estratégia de manutenção mais utilizada até os dias de hoje, sendo praticada até mesmo em grandes indústrias que possuem elaborados planos de manutenção. A manutenção corretiva pode ser entendida como a manutenção que visa recompor a condição operacional da máquina de forma mais rápida possível.

Conforme Dhillon (2002) manutenção corretiva é a manutenção ou reparo não programado para devolver o equipamento a um estado operacional definido e esse serviço é executado pelas colaboradores da manutenção ou usuários que perceberam a falhas. Por sua vez, Kardec e Nascif (2009) distinguem dois estágios de manutenção corretiva: corretiva não planejada e corretiva planejada. A primeira é utilizada para falhas aleatórias e proporciona um custo maior para a empresa.

A manutenção corretiva planejada ocorre quando a equipe de manutenção já prevê a falha do equipamento em um determinado período e já possui um planejamento para efetuar o reparo.

Tabela 1 – Evolução da Manutenção

Evolução da Manutenção							
Ano	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração			
	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Aumento das expectativas em relação à manutenção	-Conserto após a falha.	-Disponibilidade crescente. -Maior vida útil do equipamento.	-Maior confiabilidade. -Maior disponibilidade. -Melhor relação custo-benefício. -Preservação do meio ambiente.	-Maior confiabilidade. -Maior disponibilidade. -Preservação do meio ambiente.	-Maior confiabilidade. -Maior disponibilidade. -Preservação do meio ambiente. -Segurança. -Influir nos resultados do negócio. -Gerenciar Ativos.		
Visão quanto à falha do equipamento	-Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham.	-Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira.	-Existência de 6 padrões de falhas.	-Existência de 6 padrões de falhas.	-Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F.		
Mudança nas técnicas de manutenção	-Habilidade voltadas para reparo.	-Planejamento manual da manutenção. -Computadores grande e lentos. -Manutenção preventiva (por tempo).	-Monitoramento da condição. -Manutenção preditiva. -Análise de risco. -Computadores pequenos e rápidos. -Softwares potentes. -Grupos de trabalho multidisciplinares. -Projetos voltados para confiabilidade. -Contratação por mão de obra e serviços.	-Monitoramento da condição. -Manutenção preditiva. -Análise de risco. -Computadores pequenos e rápidos. -Softwares potentes. -Grupos de trabalho multidisciplinares. -Projetos voltados para confiabilidade. -Contratação por mão de obra e serviços.	-Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição. -Minimização nas manutenções preventivas e corretivas. -Análise de falhas. -Técnicas de confiabilidade. -Manutenibilidade -Engenharia de manutenção. -Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e custo do ciclo de vida. -Contratação por resultados.		

Fonte: Adaptado:Kardec e Nascif (2009).

Para Kardec e Nascif (2009, p.36)

“Manutenção corretiva planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial. Normalmente a decisão gerencial se baseia na modificação dos parâmetros de condição observados pela manutenção preditiva”.

De maneira geral, um trabalho planejado é mais barato e apresenta melhor qualidade. Então, a manutenção corretiva planejada caracteriza-se pela necessidade da informação através acompanhamento do equipamento. Ainda nessa vertente, por decisão gerencial, aplica-se a técnica reativa de gerenciamento *Run to Fail* (RTF). Mobley (2004) discorre que essa técnica determina que o equipamento somente deva passar por qualquer tipo de manutenção caso pare de funcionar. Os principais custos atrelados a essa técnica é o custo de estoque, parada do equipamento, custo com o trabalhador e indisponibilidade de produção. Ainda segundo Mobley (2004), a manutenção corretiva pode custar até três vezes a mais que outros métodos de manutenção.

A manutenção corretiva ainda pode ser dividida em manutenção corretiva paliativa e curativa. A primeira pode ser entendida como a manutenção que é feita de forma provisória que visa colocar o equipamento de volta ao funcionamento. Já a manutenção curativa, tem caráter definitivo e tem como objetivo restabelecer o equipamento à função requerida.

3.2.2 Manutenção Preventiva

Para Dhillon (2002) manutenção preventiva é definida por:

“todas as ações realizadas em um cronograma planejado, periódico e específico para manter um equipamento em condições de trabalho declaradas através do processo de verificação e recondicionamento. Essas ações são etapas preventivas tomadas para prevenir ou diminuir a probabilidade de falhas ou um nível inaceitável de degradação em serviço posterior, em vez de corrigi-las depois que elas ocorrerem”.

Portanto, a manutenção preventiva promove ações anteriores à falha da máquina e tem a intenção de mitigar a probabilidade de ações corretivas.

Para Kardec e Nascif (2009, p.42) a manutenção preventiva atua de forma que seja diminuída ou evitada a falha de redução do desempenho do equipamento, aplicando-se um elaborado plano de manutenção baseado em intervalos de tempo definidos. No entanto, nem sempre é possível determinar com precisão os intervalos ideais para a elaboração do plano de manutenção. Idealmente esses dados são fornecidos pelos fabricantes, porém, quando o acesso a esses dados é impossibilitado, usa-se como referência atividades aplicadas em sistemas similares.

Portanto, os reparos serão determinados por uma aproximação estatística geral. Uma das mais utilizadas ferramentas estatísticas é o Tempo médio entre Falhas (TMF). Porém, sabe-se que dois equipamentos iguais operando em condições diferentes não possuem TMF iguais. Desta maneira, tais generalizações podem comprometer a eficiência da metodologia, podendo

apresentar falhas. Falta de conhecimento específico do equipamento e de como ocorre seu desgaste pode resultar em uma frequência de manutenção errônea. Assim, Mobley (2004) afirma que esse tipo de manutenção pode resultar em um reparo desnecessário ou uma falha catastrófica do sistema, caso não seja realizado o estudo corretamente. Além disso, é sabido que nem todas as falhas estão relacionadas à idade do equipamento ou ao seu tempo de operação. Portanto, a manutenção preventiva é usada para o sistema do qual se tem informações suficientes para especificar o momento correto de reparo.

3.2.3 *Manutenção Preditiva*

Para Mobley (2004), manutenção preditiva é uma filosofia ou uma atitude que usa a atual condição de operação de um equipamento ou sistema para otimizar a operação total da planta. Kardec e Nascif (2009) pensam que manutenções preditivas são acompanhamentos sistemáticos que apresentam parâmetros de condição ou de desempenho do equipamento capazes de fornecer informações para uma ação de reparo. Dessa forma, a manutenção preditiva representou uma grande quebra nos conceitos de manutenção baseada no tempo.

As informações obtidas nos testes e monitoramentos contínuos dos equipamentos permitem que seja conhecida a real condição de operação e com isso a elaboração de planos de manutenção baseados na necessidade individual do equipamento. Segundo Kardec e Nascif (2009), esse método de manutenção minimiza as falhas dos equipamentos porque detecta a necessidade de manutenção ainda quando estão operando em condições satisfatórias.

Na manutenção preditiva, o tempo de vida útil dos equipamentos é maximizado porque, além de as intervenções serem realizadas antes de uma falha completa da máquina, também não são realizadas manutenções desnecessárias antes de ser apresentado algum indício de defeito. Com isso, além de eliminar os custos com atividades de reparos desnecessários, mitiga-se a introdução de erros humanos nas intervenções.

3.2.4 *Manutenção Detectiva*

Kardec e Nascif (2009) entendem que a manutenção detectiva atua sobre a detecção de falha ocultas ou que não seja possível a percepção da falha pela operação e manutenção, principalmente em sistemas de proteção, controle e comando. A falha oculta é a classe de falha que ocorre em equipamentos que não são utilizados corriqueiramente, o que impede a percepção clara de que não estão operando conforme foram projetados. De forma geral, equipamentos

ligados a sistemas de proteção são os principais alvos da manutenção detectiva. Moubray (1997) confirma isso ao dizer que falhas ocultas expõem às organizações a graves falhas ou, até mesmo, a falhas catastróficas, já que os dispositivos, geralmente, estão associados a dispositivos de proteção que não possuem características à prova de falha. A falha do sistema de proteção de uma função proporciona a ocorrência de falhas múltiplas, tornando ainda mais provável uma maior gravidade da falha.

As tarefas detectivas determinam somente que o dispositivo está operando ou não conforme sua função. Somente será possível detectar a falha de um sistema de proteção se esse for operado. Portanto, a operação pode ocorrer de duas formas: uma demanda real, o que seria uma forma bastante arriscada de avaliação ou realização de teste, ou por meio de tarefas detectivas.

As tarefas detectivas não são realizadas através de monitoramento da condição, como, por exemplo, o processo de degradação de uma válvula de alívio. Este é um exemplo típico de manutenção baseada na condição, porém essas atividades são de fundamental importância para a confiabilidade do sistema. Olhando para esse cenário, é bastante difícil de desvencilhar todas essas atividades que circundam o estudo da falha de um dispositivo. Logo, na busca da detecção de falha, são realizados trabalhos de manutenção preventiva e testes periódicos das funções dos sistemas. Dessa forma, acredita-se que manutenção detectiva seria uma subdivisão da manutenção preventiva.

3.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

3.3.1 *Conceitos e Benefícios da MCC*

A aplicação da MCC teve início na aviação americana nos anos 60, com a formação de um grupo de estudo focado em desenvolver uma metodologia para resolver o problema dos grandes custos de manutenção daquela época. Tal grupo foi nomeado como *Maintenance Steering Group* (MSG). Desde então, várias equipes de manutenção em todo mundo fizeram uso da MCC para a geração de planos de manutenção otimizados, concebendo grandes resultados em pequeno intervalo de tempo.

Segundo SAE (2009), F. S. Nowlan e H. F. Heap foram os primeiros autores do Departamento de Defesa dos Estados Unidos a publicarem, em 1978, a respeito da MCC que foi utilizado de base para a elaboração de trabalhos em diversas aplicações.

A MCC é vista na maioria das literaturas como uma forma sistemática para determinação das tarefas de manutenção, visando garantir a confiabilidade do equipamento. Nessa linha do pensamento Seixas (2008) afirma que "a MCC é a aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento". As estratégias de manutenção em vez de serem aplicadas de forma independente, visando um maior aproveitamento dos pontos positivos de cada uma, são trabalhadas de forma integralizadas.

Kardec e Nascif (2009, p.140) completa o entendimento sobre o MCC dizendo que se trata de

"um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional, pois é uma metodologia que estuda um equipamento ou sistema em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas".

Dessa forma, a sistemática foca as funções do sistema, mapeando as mais importantes para o processo e identificando suas possíveis falhas. A metodologia promove, portanto, o aperfeiçoamento na operação e eficiência da instalação e dos equipamentos, minimiza o custo do ciclo de vida e aumenta sua disponibilidade.

Para Fogliatto e Ribeiro (2011) a MCC garante a continuidade das funções específicas dos equipamentos por meio de um programa de estudo que faz uso de conhecimentos de engenharia em várias áreas de atuação. Entendendo, também, que o foco da MCC é a preservação da função do sistema e não a integridade plena do equipamento. Moubrey (1997) completa que no contexto de operação a manutenção baseada em confiabilidade é definida como o "processo usado para determinar o que deve ser feito para garantir que qualquer ativo continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça".

Kardec e Nascif (2009) confirmam que essa metodologia possui concepções que se assemelham as necessidades atuais quando opinam que a manutenção atual tem a missão de "garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado".

A manutenção baseada na confiabilidade é uma estratégia de manutenção que permite identificar a melhor manutenção, de forma individualizada, para cada equipamento. A efetividade do estudo está atrelada aos seus princípios básicos que, além de requerer uma equipe capacitada e multidisciplinar, trabalha pontos como operação, custo, meio ambiente, segurança bem como avalia as consequências das falhas evidentes e ocultas. Kardec e Nascif (2009,

p.36) compreendem MCC como um conjunto de ferramentas de manutenção disponíveis que proporciona a aplicação dos seis tipos de manutenção.

Duarte *et al.* (2013, p.80) acreditam que o ponto chave que torna a MCC uma estratégia de manutenção diferenciada é o fato de proporcionar o mapeamento do processo fabril, em que as funções mais importantes são priorizadas e previstas suas possíveis falhas.

Em sua análise, Souza e Marcal (2010, p.5), observam que a MCC tem maior desempenho quando utilizada da fase inicial até a evolução do projeto dos equipamentos.

Os benefícios proporcionados pela MCC são largamente abordados, tanto em livros de manutenção bem como pela literatura aplicada a casos reais das indústrias do mundo inteiro. Dos possíveis benefícios acarretados pela aplicação MCC listam-se o aumento da vida útil dos equipamentos, melhoria nas condições ambientais e de segurança, maior custo-benefício das manutenções e maior motivação do pessoal.

Moubray (1997, p.17) destaca como benefícios proporcionado pela implantação da MCC o aprimoramento do desempenho operacional, maior custo benefício das manutenções, melhoria nas condições ambientais, geração de sensor de equipe e aumento da vida útil dos equipamentos. Esses são oriundos dos estudos operacionais que a metodologia propõe, das análises de impactos ambientais propostos em determinada fase do estudo, da otimização da manutenção.

Para Kardec e Nascif (2009, p.154), entre os resultados esperados das análises da MCC, destacam-se a melhoria da compreensão do funcionamento do sistema ou do equipamento e sua programação, definição de como os equipamentos podem falhar, as causas básicas de falhas e mecanismo para evitá-las e, além disto, a elaboração dos planos de manutenção. Caiado *et al.* (2015, p.10) afirmam que, na teoria, a técnica da MCC permite a elaboração de planos mais equilibrados e que efetivamente agregam valor ao processo no que tange à confiabilidade e à capacidade de produção. O estudo de MCC aplicado por Silva e Ribeiro (2009, p.10) extrapolou os resultados esperados porque contribuiu para que a empresa criasse uma nova maneira de organizar e utilizar os dados de manutenção.

Smith e Hinchcliffe (2004, p. 253) apresentam como conquistas alcançadas pelo estudo de caso sobre a aplicação da MCC (estudo clássico) em uma planta nuclear nos Estados Unidos a redução, em três anos, de 37% do número de falhas, identificação das falhas ocultas e, de forma principal, o aumento do fator de capacidade da referida planta. Ainda sobre o mesmo estudo, ressaltam que a aplicação da forma abreviada da MCC foi bastante vantajosa,

pois obteve-se um ótimo resultado com um esforço reduzido.

No Brasil, Oliveira (2005) aplicou a MCC na Usina Térmica Jorge Lacerda e obteve, dois anos após, uma redução de 5,41% para 1,86% na indisponibilidade forçada em sua caldeira. Além disso, houve uma redução de 45% das atividades de manutenção no transformador-elevador 13,8kV/230kV, anteriormente ocasionadas por tarefas desnecessárias no plano de manutenção.

Ao final do estudo da MCC elaborado por Duarte *et al.* (2013, p.83), obteve-se a inserção de 360 tarefas em virtude da detecção de modos de falhas críticos; além disto, 176 atividades de manutenção sofreram alterações relacionadas ao nível de complexidade, custo e periodicidade. Ao final do estudo, esses números equivaleram a 57% das atividades aplicadas. No mesmo estudo, foi alcançado, após a aplicação das técnicas de MCC, um índice de disponibilidade 2,5% além da meta estabelecida no início do projeto, totalizando 80,48% de disponibilidade da planta fabril em questão.

Caiado *et al.* (2015, p.16) confirmam que no estudo realizado a MCC foi de fundamental importância para o sucesso da otimização de fluxo da manutenção com foco na redução do custo de manutenção sem a perda da confiabilidade já que foi possível proporcionar um serviço de alta performance com um custo mais favorável ao cliente.

3.4 Conceitos de Implantação da MCC

Vários autores descrevem diferentes processos de implantação do MCC, porém todos mantêm uma mesma base descrita por SAE (2009) que tem como maior referência Moubray (1997). Pode-se destacar que para um completo estudo de MCC devem ser respondida as seguintes setes perguntas básicas descritas em SAE (2009):

- Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris?
- De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando cada falha ocorre?
- De que forma cada falha interessa?
- O que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha?
- Pode ser realizado outro tipo de manutenção mais eficiente?

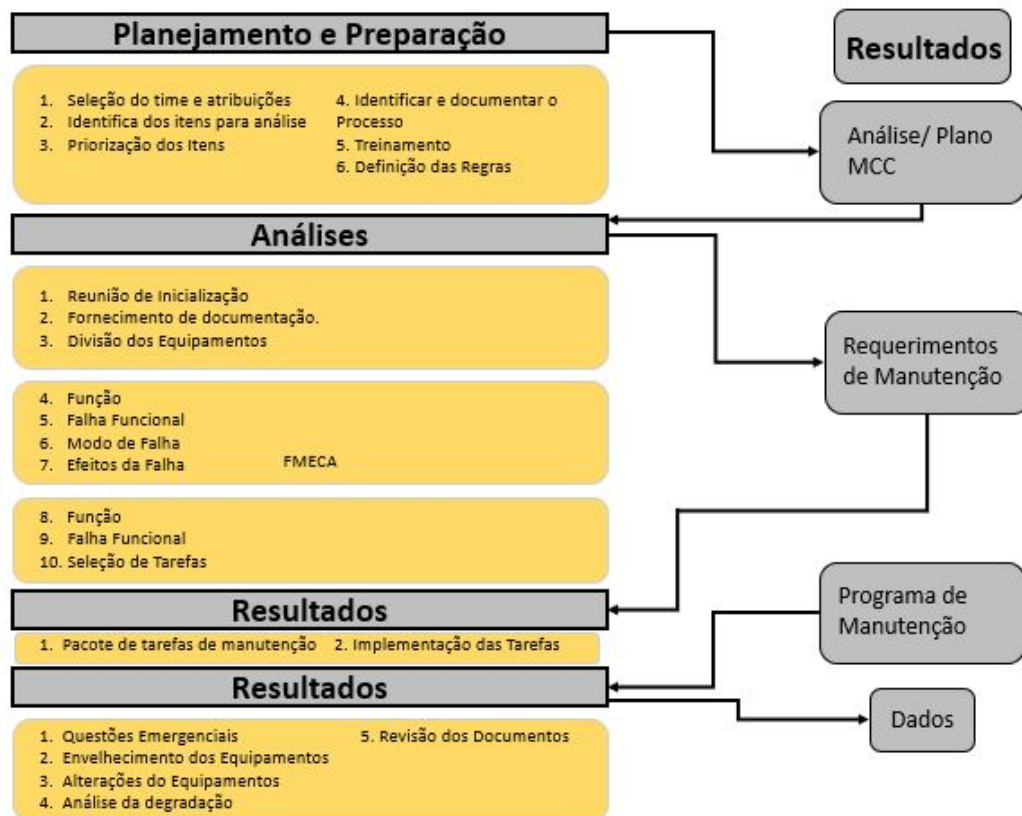
Para Smith e Hinchcliffe (2004), ao invés de perguntas, apresentam etapas que a MCC deve seguir para alcançar seus objetivos. O autor apresenta as setes etapas a seguir:

- Seleção dos sistemas e coleta de informação.
- Definição das barreiras-limites do sistema.
- Descrição dos sistemas e diagrama funcional de blocos.
- Funções e falhas funcionais do sistema.
- Modos de falha e análise dos efeitos FMEA - Identificar modos de falha que passam provocar a falha da função.
- Árvores Lógica de decisão - Prioriza a função por meio do tipo do modo de falha.
- Seleção da tarefa - Seleciona apenas aplicáveis e eficientes tarefas de manutenção.

A sequência, segundo Smith e Hinchcliffe (2004) contempla as quatro características básicas da MCC. Essas são definidas por preservar as funções, identificar os modos de falhas e como elas interrompem a função, priorização das funções e a seleção das tarefas.

A Figura 2 representa um exemplo de sequência do processo de implantação do estudo.

Figura 2 – Visão Geral do Processo de MCC



Fonte: Kardec e Nascif (2009).

3.4.1 Seleção do sistema de estudo e Definição das Fronteiras

Na elaboração da sistemática da MCC tem-se como passo inicial a seleção do nível operacional do estudo e dos ativos que serão avaliados. A definição do nível de análise estabelece sua profundidade no sistema e define os critérios que serão utilizados para a sua seleção. O estudo pode ser aplicado levando em consideração as partes de um dispositivo, componente, sistema e planta. O primeiro é considerado o nível menos abrangente de abordagem ao passo que o último proporciona uma macrovisão. Para Smith e Hinchcliffe (2004), resultados de diversas aplicações mostraram que obtêm-se um estudo mais eficiente e significativo quando analisado ao nível de sistema. Isso é devido à necessidade de uma visão ampla para melhor identificação das funções e efeito causados por uma falha.

A seleção do sistema a ser avaliado deve ser realizada de maneira estratégica, visto que, além dos esforços e custos de mobilização de uma equipe multidisciplinar para elaboração do estudo, o propósito da MCC é a minimização dos custos de manutenção com alta confiabilidade, portanto a escolha deve ter maior foco nos equipamentos que apresentam grandes períodos de indisponibilidade, custo de operação por baixa eficiência, baixo fator de capacidade, entre outras.

Uma boa ferramenta para a seleção do sistema é regra 80/20, também conhecida como regra de Pareto. Essa regra determina que 80 % dos custos de manutenção é dada por apenas 20 % dos equipamentos da planta. Para um estudo confiável, faz-se necessária a elaboração de um Gráfico Pareto dos custos de manutenção de cada sistema. Para a criação de diagrama de Pareto, Smith e Hinchcliffe (2004) citam que podem ser considerados os custos das manutenções corretivas, os números de ações corretivas ou o número de horas de indisponibilidade da planta devido à falta do equipamento. Todas as considerações são para o período de dois anos mais recentes. A Figura 3 representa um gráfico pareto de manutenção em uma termelétrica.

Ademais, se faz necessário a definição dos limites físicos e funcionais do sistema em estudo os quais devem, além de delimitar, criar comunicação entre os outros sistemas periféricos do processo.

Pode-se definir os limites físicos como:

"Fronteiras ou limites são os pontos de cada sistema onde ocorrem a comunicação com o ambiente físico ou com os demais processos e sistemas da instalação, sendo importante caracterizá-lo no mínimo sob: a direção de fluxo, localização dos componentes e subsistemas, descrição dos itens adjacentes e destino"(SIQUEIRA, 2009).

Smith e Hinchcliffe (2004) destacam que a definição precisa dos limites físicos do

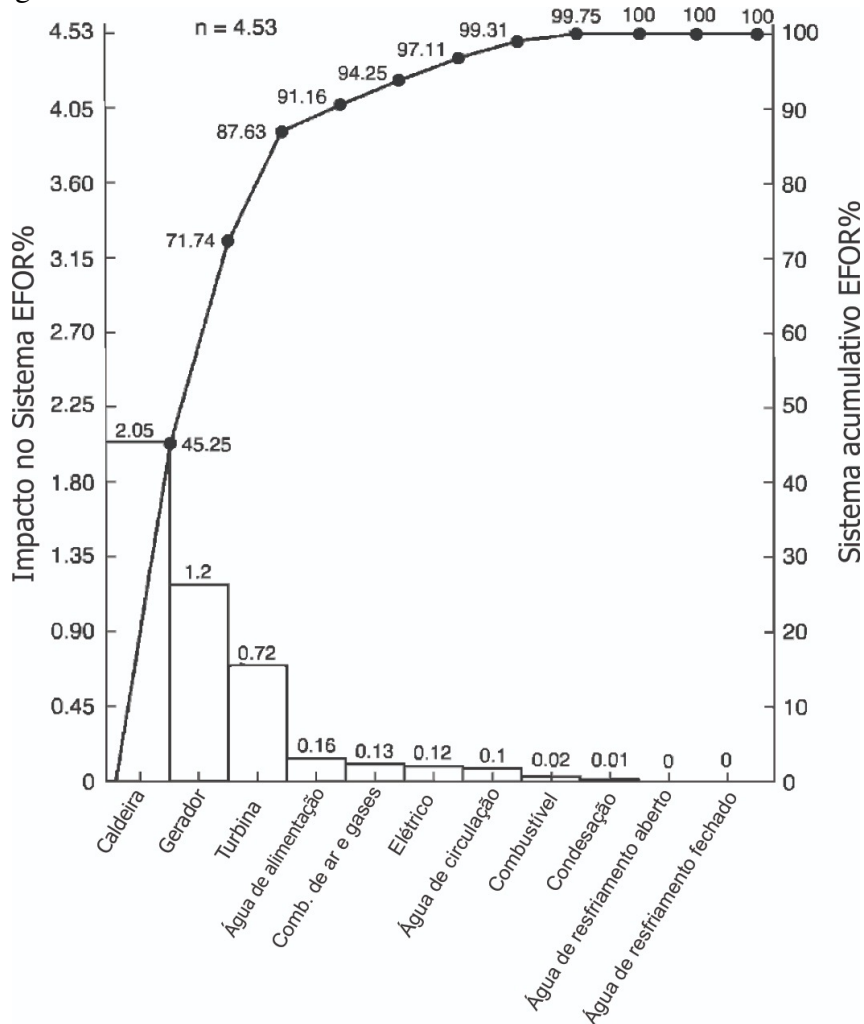
sistema e dos seus componentes é fundamental para que não lhe seja permitida a introdução de componentes de sistemas periféricos.

Além do mais, no decorrer da definição dos limites físicos do sistema, serão identificadas as suas interfaces de entradas e de saídas relacionadas a sinais de comunicação, energia, calor etc. Define-se como interface de entrada do sistema os insumos externos necessários ao funcionamento de seus componentes. Já os insumos fornecidos para outros sistemas, incluindo-se o produto resultante do processo, são considerados como interface de saída.

Essas definições são de grande importância nas próximas etapas do processo de análise. Deve-se documentar de forma precisa e eficiente a composição das definições dos limites de cada sistema durante todo o processo.

Como afirma a norma SAE (2002), não há nenhum critério específico para a realização dessa definição haja vista as grandes variações para cada tipo de equipamento e sistema.

Figura 3 – Gráfico Pareto em Termelétrica



Fonte: Smith e Hinchcliffe (2004).

Para evitar divisões de equipamentos que desempenham uma mesma função, tem-se como uma boa prática a subdivisão do sistema por módulos funcionais. Por conseguinte, todos os componentes ficam claramente relacionados a suas funções e sua avaliação pode ser realizada de forma estruturada.

3.4.2 Descrição do Sistema

A etapa de descrição tem por finalidade o levantamento das informações operacionais do sistema, bem como todas suas entradas e saídas. Após uma aprofundada coleta de informações, deve-se elaborar documentos descritivos que servirão de base para as especificações das tarefas de manutenção. Smith e Hinchcliffe (2004) acreditam que a formulação desses documentos aumenta a precisão das definições de base do sistema, mesmo que no futuro haja atualizações, as definições básicas serão mantidas. Assegura, também, que a equipe tenha, de fato, compreendido o sistema, além de ajudar na identificação dos parâmetros operacionais que possuem papel fundamental para determinação de uma degradação excessiva ou perda da função. O nível de descrição do sistema varia bastante dependendo da equipe, porém é preciso atentar que um trabalho bem feito nessa etapa garante grandes benefícios no decorrer do estudo.

É recomendada a construção de um diagrama de bloco funcional que relacione todos os subsistemas do sistema em estudo. Um diagrama de bloco tem por finalidade representar as principais funções dos subsistemas e como eles se inter-relacionam. Smith e Hinchcliffe (2004) esclarecem que seu benefício é melhor percebido quando usado em sistemas mais complexos, em que cada subsistema é analisado por vez. Portanto, juntamente com as determinações das interfaces do sistema, pode-se obter uma excelente fonte de análise do processo.

Um diagrama de bloco apresenta uma excelente visão do contexto operacional do sistema, o qual é interpretado por SAE (2002) como sendo as condições operacionais do sistema em relação ao padrão de qualidade do serviço, segurança e meio ambiente, redundância e intensidade de operação. A identificação do contexto operacional é fundamental para a conclusão das próximas etapas do estudo, pois assim é possível a determinação das funções desejadas e auxilia na definição das consequências das falhas.

O diagrama de blocos, também, é uma excelente ferramenta para visualizar as entradas e saídas dos subsistemas. De forma geral, as entradas podem ser consideradas fonte de recursos necessários para a execução do trabalho, bem como as saídas são, na maioria das vezes, o produto do trabalho realizado. Na análise, o foco, geralmente, são as saídas do sistema tendo

em vista preservar a função do sistema em questão.

Para completar a identificação do sistema, o levantamento do histórico de manutenção de cada equipamento ou equipamentos similares é de grande relevância para a continuidade do estudo, pois fornecem as falhas que ocorrem com mais frequência, apontando assim quais devem ser trabalhadas. Muitas vezes, a dificuldade de aquisição de dados confiáveis de histórico de manutenção dos equipamentos é uma grande barreira para implementar o estudo quantitativo. Assim, elaboração de um plano de manutenção com essa metodologia, também, ajuda a mostrar algumas falhas de processo no setor de manutenção. Um grande problema encontrado em grandes plantas industriais é a pobre descrição da atividade de manutenção. Isso ocasiona maior dificuldade nos trabalhos das equipes de engenharia de manutenção que buscam uma elaboração eficiente de melhorias nos planos de manutenção.

3.4.3 Identificação das Funções, Desempenho e Falhas Funcionais

Em seguida, deve-se identificar e avaliar as funções e padrões de desempenho dos equipamentos no seu contexto operacional. Para satisfazer o princípio da MCC de preservação da função, é necessário a identificação das funcionalidades e desempenho desejado do equipamento dentro do seu contexto operacional.

Para SAE (2009), a função do equipamento é entendida como o que o proprietário do ativo quer que ele faça. As funções de cada item devem ser separadas em funções primárias e secundárias por meio da importância operacional. Para Moubray (1997), a função primária constitui-se na grande razão pela qual o ativo foi comprado e está relacionada, geralmente, ao serviço ao consumidor; à qualidade, ao carregamento ou armazenamento dos produtos; e à velocidade do processo. Ainda sobre afirmações de Moubray (1997), as funções secundárias são as funções que o usuário espera que o ativo realize, além de somente efetuar a função primária. As áreas onde essas funções, geralmente, se encaixam são de segurança, controle, conforto, integridade, estrutura etc.

A partir do conhecimento das interconexões entre os equipamentos e as interfaces de saída na etapa anterior, pode-se mais facilmente determinar as funções de todos os componentes e do sistema como um todo. A descrição das funções do sistema deve apresentar sua finalidade e os seus limites de qualidade operacional.

No entendimento de Fogliatto e Ribeiro (2011)

"a definição das funções e padrões de desempenho dos equipamentos fabris

estabelece a base de trabalho do programa de MCC. Todos devem compreender o que é esperado de cada equipamento, as funções que ele deve cumprir e o padrão de desempenho que deve ser mantido durante sua vida útil. Nesse sentido, é importante entender que cada componente da planta possui funções primárias e secundárias que devem ser mantidas".

Segundo a NASA (2008), a função define o padrão de desempenho desejado, o qual pode ser mensurado por meio de propriedades físicas, desempenho de operação e tempo de funcionamento.

Kardec e Nascif (2009, p. 142) acreditam que, "[...] como regra geral, deve-se quantificar os padrões, quando possível, no que se refere às variáveis de produção e desempenho, características da qualidade do produto, aspectos ligados à segurança, ao meio ambiente e aos custos operacionais".

Para SAE (2009), os limites de qualidade operacial podem ser entendidos como

"os padrões de desempenho incorporados nas declarações da função devem ser o nível de desempenho desejado pelo proprietário ou usuário do ativo em seu contexto operacional, em oposição à capacidade de design".

SAE (2009) e Moubray (1997), entendem que existe uma margem de deterioração a qual o equipamento vai se desgastar até atingir o nível de desempenho mínimo aceitável pelos usuários.

Para Moubray (1997, p.46), a performance do equipamento, sempre que possível, deve ser informada de forma quantitativa por ser mais precisa do que se estabelecida em padrões qualitativos. E ainda, devem ser evitadas as definições que dificultem o entendimento de como o equipamento deva funcionar, como, por exemplo, "motor deve girar o mais rápido possível".

Smith e Hinchcliffe (2004), esclarecem que, na análise do processo, o foco é a perda da função e não a do equipamento; portanto, durante a descrição da função, deve-se evitar a inclusão de equipamentos. Além disso, deve-se entender que a perda da função pode ter mais de uma condição que pode ocasionar efeitos de severidades diferentes para o sistema e isto pode determinar variadas ações para cada falha em um mesmo equipamento. Esse estudo é dependente do sucesso das etapas anteriores, portanto, em caso da ausência de alguma função, essa não será considerada nesta etapa.

Com as funções identificadas, é possível determinar as falhas funcionais prováveis. De forma geral, a falha funcional é a negação da função. Para Kardec e Nascif (2009), "falha pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto".

NASA (2008) afirma que a falha funcional descreve várias formas as quais um sistema pode falhar de acordo com a função desempenhada e o padrão requerido. As falhas funcionais podem ocorrer através de falhas totais e parciais que podem ser definidas quando o ativo perde completamente a capacidade de exercer a função e no momento em que o equipamento é capaz de realizar a função, porém com o desempenho fora dos padrões aceitáveis. Bem como, pode falhar por limite superior e limite inferior. Para Moubray (1997, p.49), a violação do limite superior, geralmente, precisa ser identificada separadamente da falha por limite inferior, uma vez que os modos de falha e as consequências associadas são diferentes para cada caso. Portanto, percebe-se a importância da determinação dos padrões de desempenho esperado de cada equipamento ou sistema.

3.4.4 Modos de falhas, Causas e Efeitos

Em sequência, fundamenta-se o estudo dos modos de falha e seus efeitos. Para Fogliatto e Ribeiro (2011), modos de falha são situações que já ocorreram anteriormente ou possuem grande possibilidade de ocorrência futura que comprometem o desempenho das funções específicas do ativo.

"Os modos de falha correspondem a eventos, passíveis de ocorrer, que caracterizam falha em cumprir uma das funções especificadas para o componente. Modos de falha passíveis de ocorrer são aqueles que já ocorreram no passado em componentes similares, ou aqueles que ainda não ocorreram, mas que a equipe considera que exista uma possibilidade real de ocorrência no futuro". (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011)

A (SAE, 2002, p.15) determina a necessidade de estabelecer um nível de probabilidade razoável para seleção dos modos de falhas. Essa questão deve ser bem elaborada porque, na prática, a quantidade de modos de falha listada pode resultar em uma descrição superficial do problema ou pode implicar em uma demora necessária durante o estudo. Para isso, uma boa prática é incluir modos de falha já ocorridos com equipamentos similares e sempre consultar quem conhece bem o equipamento.

A análise dos modos de falha do equipamento deve estabelecer o que há de errado com o ativo porque é possível que haja vários modos de ocorrer uma determinada falha funcional. Nesses casos, deve-se delimitar as falhas funcionais dominantes a fim de que sejam evitados modos de falha improváveis. Smith e Hinchcliffe (2004, p.104), defendem que, quando não houver dados suficientes para determinar a probabilidade ou o número de modos de falha

ocorridos, seria de bom senso que a equipe de manutenção incluísse aqueles que apresentam uma possibilidade razoável de ocorrência durante o período de funcionamento da planta.

Cada modo de falha pode afetar a planta industrial de forma diferente e seus efeitos tanto podem ser de baixa relevância como também de proporções que possam causar grande prejuízo à segurança, à produtividade, à qualidade e ao meio ambiente. O esforço dedicado a evitar a ocorrência de cada falha possível deve ser proporcional à consequência dessa falha.

SAE (2002, p.18) afirma que a deterioração ocorre quando a capacidade do ativo está acima do nível desejado, porém começa diminuir até um nível abaixo do limite inferior desejado. Podendo descrever o modo de falha como qualquer forma de desgaste devido ao uso, como por exemplo, fadiga, corrosão, abrasão, erosão etc.

Para Moubrey (1997), ao serem reconhecidos os modos de falha, é viável determinar o que ocorreu, suas consequências e decidir sobre quais ações devam ser tomadas para antecipar ou corrigir as falhas. Então, são identificadas as causas de cada falha funcional, visto ser elas os principais alvos das ações preventivas. As causas podem estar associadas a falhas de projeto, defeito do material, procedimentos equivocados de montagem ou às condições de operação.

Fogliatto e Ribeiro (2011, p.219) afirmam que “[...] as causas das falhas devem ser identificadas de forma detalhada para assegurar que as ações sejam dirigidas à raiz do problema e não aos sintomas apresentados”. Assim, as causas devem ser determinadas diretamente para o modo de falha e para o equipamento em questão, mesmo quando não haja certeza da causa raiz da falha. A provável causa deve ser apontada, ainda que por meio de uma afirmação incerta, uma vez que a causa da falha está estreitamente ligada à seleção da tarefa de manutenção. Existe a possibilidade de existir duas causas para uma mesma falha e a elas serem atribuídas, respectivamente, a diferentes ações de manutenção.

Com isto, desenvolve-se o relacionamento entre os modos e os respectivos efeitos de falhas. Para SAE (2009) pode ser entendido como efeito o que acontece quando cada modo de falhar ocorre. A partir dessa etapa é usado a ferramenta FMEA, a qual pode ser traduzida como Análise dos Modos e Efeitos de Falha, para auxiliar na elaboração e organização dos dados coletados.

Oliveira (2005) afirma que a análise dos efeitos deve ser realizada com bastante esmero tendo em vista a necessidade de desenvolver um conhecimento profundo e uma maior aproximação com o cenário realista da operação do sistema. O levantamento dos efeitos

possibilita a determinação das consequências das falhas. Logo, é bastante importante a distinção do conceito de efeitos e consequência.

3.4.4.1 *Análise de Falha e Efeito (FMEA)*

A FMEA é uma técnica de análise cujo objetivo principal é descrever os componentes de um sistema a fim de especificar todos os modos de como cada um poderá vir a falhar e de avaliar seus efeitos sobre o sistema e demais componentes.

“A FMEA incorpora o processo que tem a intenção de identificar o modo de falha do equipamento, sua causa, e finalmente o feito resultante do modo de falha ocorrido durante o processo [...] tradicionalmente o FMEA é pensado como uma ferramenta de design em que é usado extensivamente para garantir o reconhecimento e compreensão das fraquezas [...] Assim armado com essas informações, a equipe fica melhor preparada para determinar o que poderia ou deveria ser feito para evitar ou mitigar o modo de falha.” (SMITH; HINCHCLIFFE, 2004).

Fogliatto e Ribeiro (2011) acreditam que a FMEA contribui para reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um processo ou ativo. Além disso, ajuda na identificação de ações que reduzam as chances de ocorrência de falha, bem como cria referenciais técnicos que auxiliam em revisões e implementação para futuros projetos.

Inicialmente, é realizada a análise de elementos de menor nível (subsistemas ou componentes) a fim de identificar os modos e mecanismos de falhas potenciais e, em seguida, especificar os seus efeitos nos vários níveis do sistema.

Souza e Marcal (2010, p.12) comenta sobre o a aplicação da FMEA aliado ao estudo de MCC que:

“A integração das duas técnicas pode superestimar os pontos de melhoria de cada uma das técnicas e dar origem a uma ferramenta com recursos poderosos no sentido de simplificar experiências na implantação e consequentemente maximizar o retorno ambicionado, ou seja, a aplicabilidade integrada é um requisito importante e estratégico para a promoção da sinergia do sistema produtivo promovendo assim um diferencial competitivo para as empresas”.

Kardec e Nascif (2009, p.42) acreditam que FMEA, é uma abordagem que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. Além disso, é um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece as recomendações para ações preventivas.

Kardec e Nascif (2009, p.130) concluem que a FMEA focaliza as falhas potenciais mais frequentes e suas causas. Assim, todas as ações que têm como finalidade evitar problemas futuros podem ser tomadas com base em eventos já ocorridos

Fogliatto e Ribeiro (2011) lista como vantagens da aplicação da FMEA tornar sistemáticos os diagnósticos dos equipamentos por ajudar na detecção e eliminação de prováveis falhas. Além disso, por permitir uma priorização das ações a serem tomadas.

A FMEA pode ser caracterizada como de projeto, de processo e de sistema. A primeira tem em seu enfoque eliminar as falhas oriundas da concepção do projeto do equipamento. Para a de sistema, são estudadas as falhas operacionais e os possíveis gargalos na produção. Além disto, os aspectos de manutenção são considerados na FMEA de processo.

A FMEA é um modelo de análise essencialmente qualitativo que usa, portanto, poucos dados numéricos em seu estudo. No entanto, existe uma variação denominada *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) que trata de fatores como frequência de ocorrência dos modos de falhas e grau de severidade dos efeitos, e que, também promove análises quantitativas em relação à gravidade dos efeitos das falhas sobre a operacionalidade da planta e a segurança dos trabalhadores. Para a efetiva aplicabilidade dessa técnica, é necessário um banco de dados bastante completo e preciso, o que torna o estudo mais complexo, porém, evidentemente, mais assertivo.

Smith e Hinchcliffe (2004, p. 49) citam que “os formulários do FMEA são o início de praticamente todas as análises e avaliações subsequentes porque forçam o grupo a avaliar sistematicamente as fraquezas dos equipamentos e sistemas, visto que a forma como eles se relacionam podem levar à uma baixa confiabilidade”. Diante disso, o desenvolvimento da FMEA inicia-se na determinação das funções e falhas funcionais, a fim de demonstrar, de forma clara, as relações entre ambas. A Tabela 2 representa o modelo criado pelos autores Smith e Hinchcliffe (2004), o qual pode ser utilizado para a elaboração da análise nessa etapa.

Ocorre então, a identificação dos modos de falha para cada falha funcional e assim, também a suas possíveis causas. Logo, são realizadas as considerações dos efeitos de cada falha.

Smith e Hinchcliffe (2004) em sua abordagem, realizam uma análise do efeito em três níveis: local, sistema e planta. Esse tipo de consideração é de grande relevância porque possibilita a visualização das possíveis consequências das falhas, conforme elucidada a Tabela 3.

NASA (2008, p. 40) afirma que, mesmo que o equipamento apresente múltiplos modos de falha, é comum que os efeitos das falhas sejam os mesmos ou muito parecidos.

Tabela 2 – Modelo de Planilha - Descrição da falha funcional

Informação	Descrição da falha funcional	Id. Planta
Planta	FGD	id. Sistema 00651-020304
Sistema	Sistema de Bombeamento JM3	Revisão 0
Subsistema	Sistema de compressão C92	Data 03/10/1998

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
1.0		Compressor de ar com 38 Psig e 6050 CFM para 93 A/B em condições normais de operação
	1.1	Sem suprimento de ar
	1.2	Pressão incorreta do ar
2.0	1.3	Suprimento de ar fora dos padrões normais de operação
		Fornecer lubrificação filtrada e na temperatura e pressão adequada
	2.1	Perda da lubrificação
3.0	2.2	Lubrificação em temperatura, pressão e limpidade imprópria
		Remover calor de compressão
		Não remover o calor de compressão
4.0		Filtrar corretamente o ar de selagem, ar de instrumento e ar da atmosfera
	4.1	Não filtrar o ar
	4.2	Ar em condições incorretas (pressão e sujeira)
5.0		Prover sinais corretamente (controle alarme, status e proteção)
	5.1	Não indicar sinal
	5.2	Indicar sinal falso
6.0		Manter a integridade das bordas
	6.1	Perda de integridade das bordas

Sistema:	Sistema de Bombiamento JM3
Subsistema:	Sistema de compressão C92

Fonte: Adaptado de Smith e Hinchcliffe (2004)

3.4.5 Análise das Consequências das Falhas

3.4.5.1 Definições de Consequências das Falhas

Na próxima etapa do estudo, aborda-se o entendimento das consequências de cada efeito da falha. A combinação do contexto operacional, padrão de desempenho e efeitos produzem uma consequência específica associada a um equipamento que pode afetar a produção, a segurança, o meio ambiente e a qualidade do serviço. De acordo com cada consequência, são levantados níveis de relevância que modularão, respectivamente, as ações futuras. Diante de

Tabela 3 – Modelo de Planilha - Modo de falha e Análise dos Efeitos

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Modo de Falha			Causa da Falha			Efeito da Falha			LTA
			Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Causa da Falha	Local	Sistema	Planta			
1.1	03	Compressor	3.26	Aleas do refrigerador de ar descolar do tubo	3.26.1	Uso normal e desgaste	Perda de eficiência do ar de refrigeração	Não suprir ao sistema	Perda da ar da alta pressão	s		
1.1	03	Compressor	3.27	Crescimento de crosta de sujeira na parte interna	3.27.1	Água suja	Perda de eficiência do ar de refrigeração	Não suprir ao sistema	Perda da ar da alta pressão	s		
1.1	03	Compressor	3.28	Separador de umidade sujo	3.28.1	Uso normal e desgaste	Restringir o fluxo de ar resultando em um possível surto	Não suprir ao sistema	Não suprir ao sistema	s		
1.1	03	Compressor	3.29	Desgaste das juntas do tubos	3.29.1	Envelhecimento	Vazamento de ar para atmosfera, reduzindo e eficiência do compressor	Não suprir ao sistema	Não suprir ao sistema	s		
1.1	03	Compressor	3.30	Deteção ou deslocamento das gaxetas do refrigerador	3.30.1	Envelhecimento	Fluxo incorreto de água, resultando em falta de ar de refrigeração	Não suprir ao sistema	Não suprir ao sistema	s		

Fonte: Adaptado de Smith e Hinchcliffe (2004)

consequências muito relevantes, consideráveis esforços devem ser realizados para mitigar ou eliminar as possibilidades da falha.

Moubray (1997, p.93) acredita que a severidade dos efeitos determina como a organização avalia a falha. Portanto, seus efeitos são os fatores determinantes para mensurar como a falha importa. São levados em consideração o contexto operacional e o desempenho padrão de cada função e o efeito de cada modo de falha. A Tabela 4, exemplifica uma escala de prioridade de ações a serem tomadas de acordo com a consequência de cada falha.

Portanto, percebe-se que uma das grandes percepções do estudo é os esforços realizados, não são somente para prevenir as falhas, mas também para evitar as consequências da falha. Sobre isso Moubray (1997, p.93) sugere que "as consequências das falhas são mais importantes do que suas características técnicas [...] a manutenção proativa tem mais a ver com evitar ou reduzir a consequência da falha do que com o fato de prevenir as próprias falhas."

As consequências de falha podem ser categorizadas de acordo com a SAE (2009) respondendo as seguintes perguntas:

- Quais são as evidências de ocorrência de falha?
- A ocorrência da falha poderia matar ou ferir alguém?
- A falha poderia afetar a produção ou operação?
- Quais os danos materiais que a falha pode causar?
- O que poderia ser feito para restabelecer a função depois da falha do sistema?

Tabela 4 – Prioridade de Ação de acordo com a Consequência da Falha

Prioridade		Critério baseado na consequência da falha do sistema/equipamento
Número	Descrição	
1	Emergente	Ameaça da segurança de vidas. Sério Impacto imediato.
2	Urgente	Ameaça a operação contínua da planta industrial. Impedir serios impactos a planta.
3	Prioritário	Degradação da qualidade do processo. Significantes efeitos a planta.
4	Rotineiro	Disponibilidade de redundância. Impacto insignificante a planta.
5	Dependendo da condição	Impacto a planta negligenciável. Recursos disponíveis.
6	Deferido	Impacto a planta negligenciável. Recursos indisponíveis.

Fonte: Adaptado de NASA (2008)

Intrínseco ao conceito das consequências vincula-se a caracterização sobre sua evidência ou não, as quais poderão ser tratadas como evidentes ou ocultas.

As falhas ocultas podem possibilitar a ocorrência de falhas múltiplas as quais são definida pela SAE (2009) como “[...] um evento que ocorre se uma função protegida falhar enquanto seu dispositivo de proteção ou sistema de proteção estiver em um estado com falha”. Existe, também, a categorização em relação à segurança e ao meio ambiente, tida como a característica mais crítica para o estudo. Além disso, são tratadas as consequências operacionais, nas quais são correlacionados parâmetros de qualidade do processo, cliente etc. Por fim, as consequências são analisadas somente em relação aos custos acarretados.

A falha pode ser considerada oculta quando um item está em falha, porém incapaz de ser percebida por qualquer funcionário, a não ser que ocorra uma outra falha ocasionada pela primeira. De forma contrária, a falha evidente será percebida pela equipe da planta no momento em que ocorrer.

As falhas que ocorrem durante o pleno funcionamento do sistema e oferecem riscos potenciais de lesionar ou ameaçar a vida dos usuários do sistema em análise, possuem consequência sobre a segurança.

As consequências ambientais são tratadas, de forma geral, como as que afetam o bem-estar da população. A gravidade dessas consequências é prevista pelas leis ambientais sejam de abrangência estadual, regional, nacional que regem o local de instalação da planta. A forma de tratar tais consequência podem, também, seguir um padrão determinado pelas próprias empresas que, em alguns casos, dispõem de regras mais rígidas do que as leis dos órgãos reguladores.

Por sua vez, as consequências operacionais são tratadas como as falhas que afetam as funções principais, e, conseqüentemente, causam danos à continuidade do processo e reduzem a capacidade de produção da organização. Evidentemente, equipamentos diversos podem apresentar consequências operacionais diferentes. Sobre isso SAE (2002) afirma que “[...] a magnitude dos efeitos depende de quanto o equipamento é usado e da disponibilidade de alternativa”. Kardec e Nascif (2009) classificam como impactos operacionais e econômicos aqueles que afetam a capacidade de produção do sistema, a qualidade do produto, a redução da eficiência do processo ou os que geram algum tipo de insatisfação ao cliente.

3.4.6 Diagramas decisoriais e Seleção das Tarefas

Diante de todas as informações abordadas no estudo, a próxima etapa trata da avaliação da estratégia de manutenção e da seleção de tarefas a serem realizadas. Uma boa estratégia de manutenção é fundamental para o meio industrial, visto que tem por missão prever as falhas que possam acarretar consequências mais severas do ponto de vista da empresa e lhe disponibilizar maiores recursos. Portanto, um dos objetivos dessa etapa é classificar os modos de falha considerando os impactos nos aspectos em que o MCC se fundamenta: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo.

Para determinar as funções significantes, a metodologia MCC utiliza uma lógica estruturada que se utiliza de um fluxo de decisão, baseado em uma série de perguntas sobre a falha funcional e os modos de falha associados a ela.

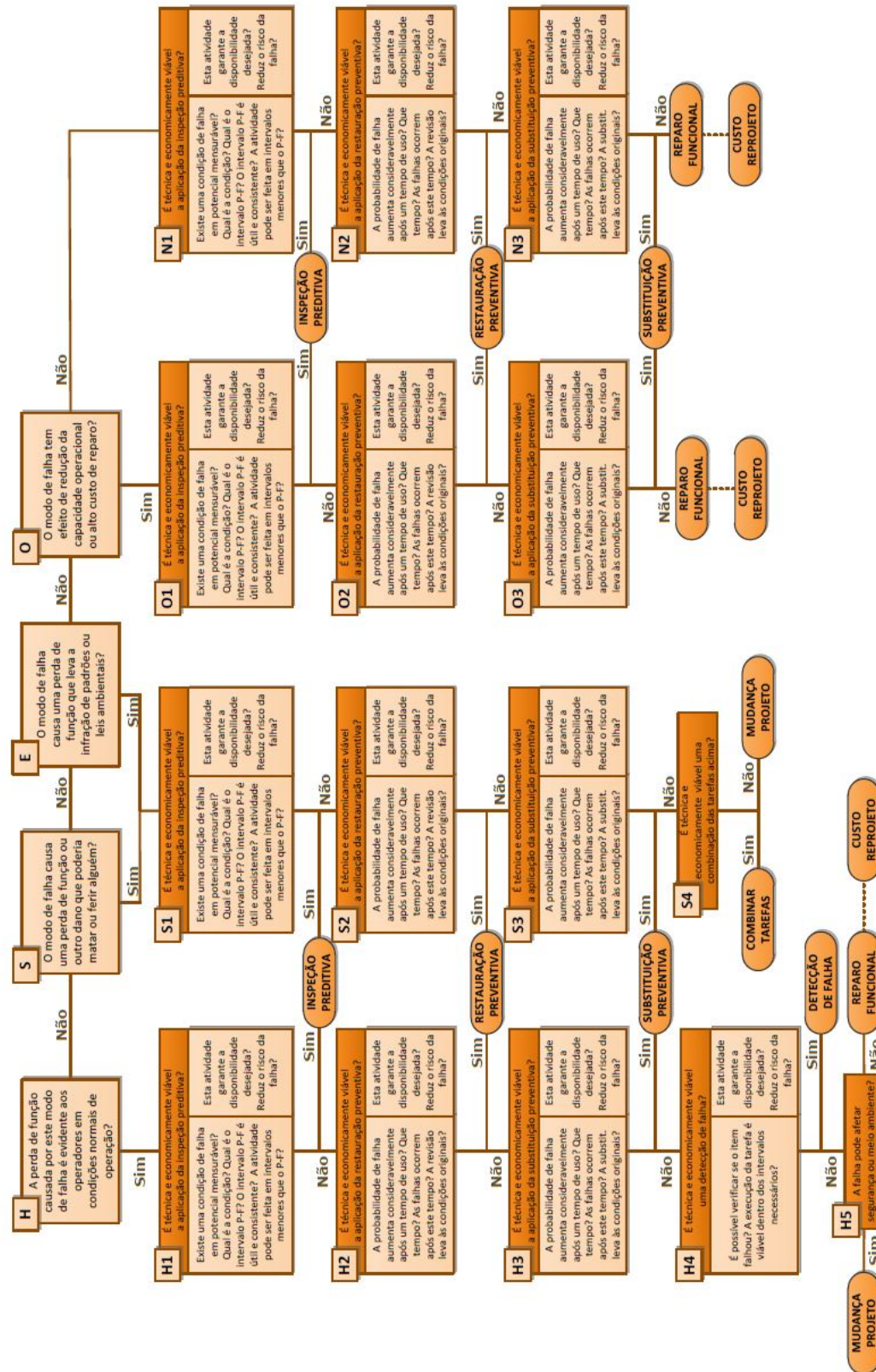
Para realizar essa etapa são usados diagramas decisoriais que visam proporcionar uma maior agilidade nas decisões e a criação de padrão para definição das consequências. Esse possui uma série de perguntas respondidas com sim ou não que irão determinar em qual categoria a consequência do modo de falha se encaixa.

Moubray (1997) propõe o modelo de diagrama decisoriais da Figura 4 como auxílio a essa etapa. Para esse diagrama o autor possibilita a adequação da consequência nas categorias H, S E e O, sendo essas, Evidência de falha, Segurança, meio ambiente e operacional/econômico, respectivamente. Além da categorização da consequência do modo de falha, o diagrama proposto permite a determinação de quais tipo de tarefas podem ser realizados. As tarefas analisadas podem ser baseadas na condição, baseadas no tempo ou até mesmo tarefas de descarte do equipamento.

Para auxiliar nessa tarefa Smith e Hinchcliffe (2004) criaram o diagrama decisoriais *Logic Tree Analysis* (LTA), em português *Árvore lógica de Análise*, mostrado na Figura 5. Esse é baseado em três perguntas, as quais, também, são respondidas com sim ou não. O fruto desse diagrama, assim como o diagrama da Figura 4, é uma classificação da consequência do modo de falha sobre segurança, interrupções operacionais e econômicas. Para Smith e Hinchcliffe (2004), a primeira pergunta tem por finalidade determinar a evidência da falha, ou seja, se a falha pode ser considerada uma falha oculta para o operador. A segunda pergunta tem como questionamento se a falha pode acarretar problemas com segurança. Para Smith e Hinchcliffe (2004), de modo geral considera-se risco de vida e ferimento como avaliação de segurança, porém admite-se que o critério de segurança possa ser implementado de acordo com a individualidade da equipe. A

última pergunta faz distinção entre as consequências econômicas e consequências que provocam grande indisponibilidade da planta.

Figura 4 – Árvore Lógica de Análises de Moubray



Fonte: Moubray (1997)

A diferença entre ambas está no fato de uma pode ser tolerada, por um determinado período, e a outra não. Para os autores podem ser considerados apenas como problemas econômico aquelas que provocam até 5 % de indisponibilidade. Dessa forma, é viável estabelecer níveis de prioridades de cada modo de falha e assim fazer um melhor remanejamento de recursos. A Tabela 5, exemplifica o resultado obtido nessa etapa, onde são relacionados cada modo de falha com suas consequências.

Diferentemente, do diagrama da Figura 4, o LTA somente classifica a consequência

Tabela 5 – Modelo de Planilha - Análise da Árvore Lógica

Falha Funcional#	Componentes#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria
1.1	03	Compressor	3.29	Falha de vedação das Juntas da tubulação	S	N	S	B
1.1	03	Compressor	3.30	Deterioração ou quebra da gaxeta do refrigerador	N	N	S	D/B
1.1	04	Condutores e conexões	4.01	Falha de isolamento levando a curto circuito	N	S	S	D/A
1.1	04	Condutores e conexões	4.02	Folga, quebra ou corrosão das conexões	N	N	S	D/B
1.1	05	Válvula de alívio LPA-RVA 921 U	5.01	Quebra da mola de pressão	N	S	S	D/A
1.1	05	Válvula de alívio LPA-RVA 921 U	5.02	Válvula fechada	N	N	S	D/A
1.1	06	Válvula de Retenção V925A	6.01	Falha ao Reinstalar	N	N	S	D/B
1.1	06	Válvula de Retenção V925A	6.02	Falha ao abrir	S	N	S	B
1.1	07	Válvula de Controle de Ar V921	7.01	Vazamento no invólucro	N	N	N	D/C

de falha, e não é capaz de definir as tarefas que devem ser realizadas. Para esse fim, Smith e Hinchcliffe (2004) usam o digrama denominado "mapa de seleção de tarefas" apresentado na Figura 6. Ao final da análise são estabelecidas as tarefas de manutenção que devem ser realizadas. Outro ponto divergente entre os autores é que para Moubray (1997) a consequência somente pode ser classificada de uma forma, porém Smith e Hinchcliffe (2004) determinam que cada modo de falha pode ser até dois tipos de consequências, portanto podendo ser classificadas como Falha oculta e uma das outras três categorias restantes.

Dessa forma, pode-se concluir que ambos os diagramas têm a mesma finalidade, porém Moubray (1997) apresenta um único diagrama para o processo de determinação do tipo de consequência e as tarefas a serem realizadas. Já Smith e Hinchcliffe (2004) faz uso de dois diagramas para esse fim. Ao final utiliza-se da Tabela 6 para relacionar todos os conceitos determinados com as tarefas de manutenção proposta, assim como, as suas respectivas periodicidade.

Smith e Hinchcliffe (2004) propõe que ao final das seleções das tarefas seja feito uma conferência de todas as atividades de RTF através dos oito seguintes questionamentos:

- Eficácia marginal: Existe a certeza de que a atividade de rodar até a falha é mais barata do que uma atividade preventiva?
- Alto custo de falha: Mesmo que não haja perda de funções críticas, o modo de falha provavelmente pode causar um grande dano a um outro componente que deve ser evitado?
- Danos secundários: Existe uma alta probabilidade de que o modo de falha leve a um dano em componentes ao redor e possibilite uma perda de funções críticas?
- Conflitos de OM: O fabricante do equipamento determina uma manutenção preventiva, porém a MCC não recomenda essa tarefa?
- Conflitos internos: Equipes de manutenção e de operação não concordam com tarefas apontadas pela MCC?
- Conflitos regulatórios: A regulamentação que rege a planta industrial estabelecer outras tarefas de manutenção específica?
- Conflitos com seguradora: A seguradora especifica tarefas de manutenção para esse item?
- Falha oculta: Em uma reavaliação do modo de falha, essa pode ser caracterizada como D/C?

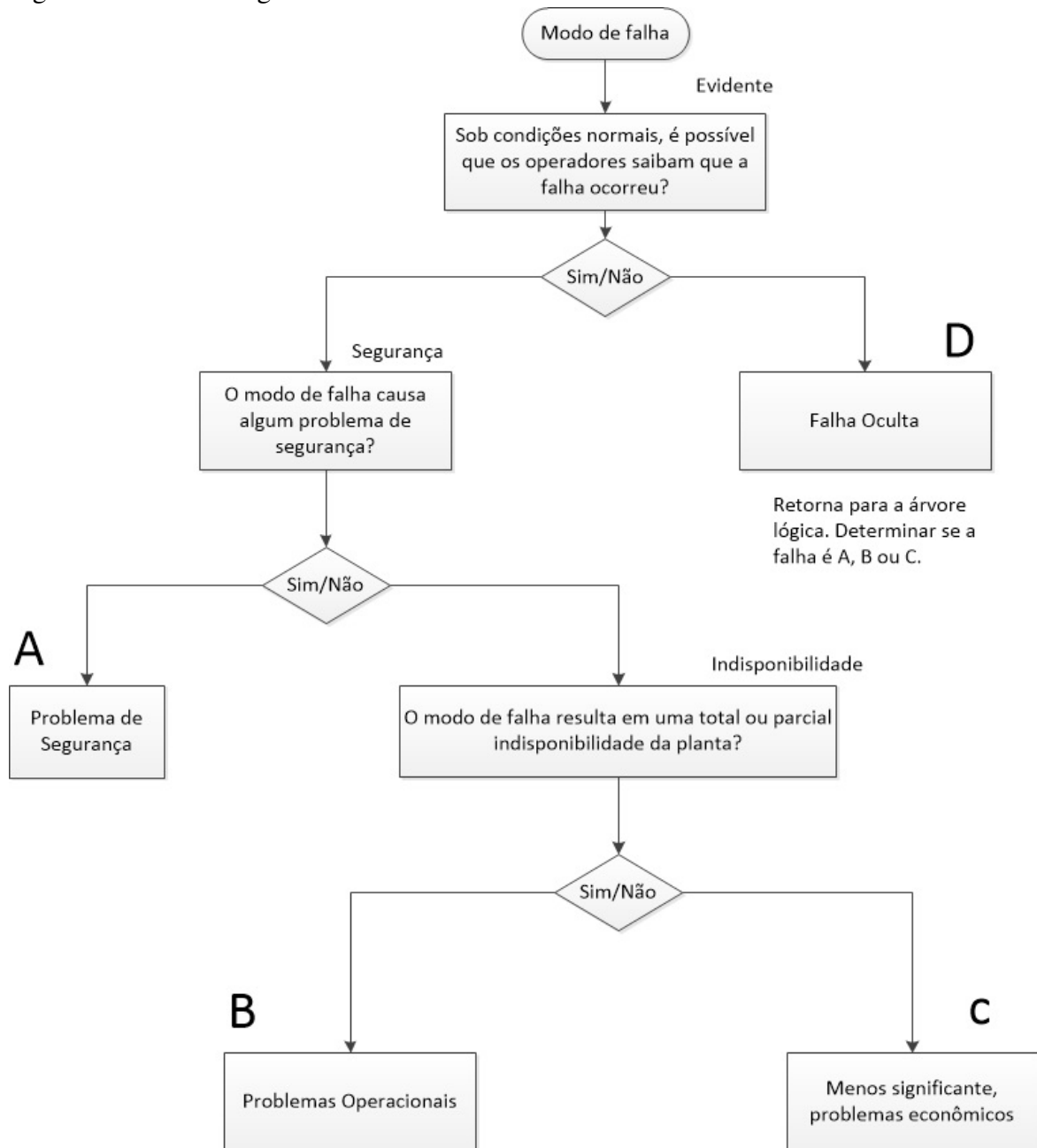
Se ao final das perguntas alguma dessas for respondida com sim, isso pode ser um grande indicativo de que a tarefa RTF será rejeitada em algum momento da implantação do plano

Tabela 6 – Modelo de Planilha - Seleção de Tarefas

Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Causa da Falha	1	2	3	4	5	6	7	Tarefa	Frequência
1.1	Compressor	3.30	Detecção ou quebra da gaxeta do refrigerador	3.30.1	Envelhecimento	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual em busca de gotejamento ou empocamento	Trimestral
1.1	Condutores e Conexões	4.01	Falha de isolamento levando a curto circuito	4.1.1	Envelhecimento e Calor	P	Y	N	Y	N	N	N	Lubrificação da válvula	Durante atividade de calibração
1.1	Válvula de alívio LPA-RVA 921 U	5.02	Válvula fechada	5.2.1	Corrosão e Uso Insuficiente	P	Y	N	Y	N	Y	Y	Inspeção visual em busca de gotejamento ou empocamento	5 anos

Fonte: Adaptado de Smith e Hinchcliffe (2004)

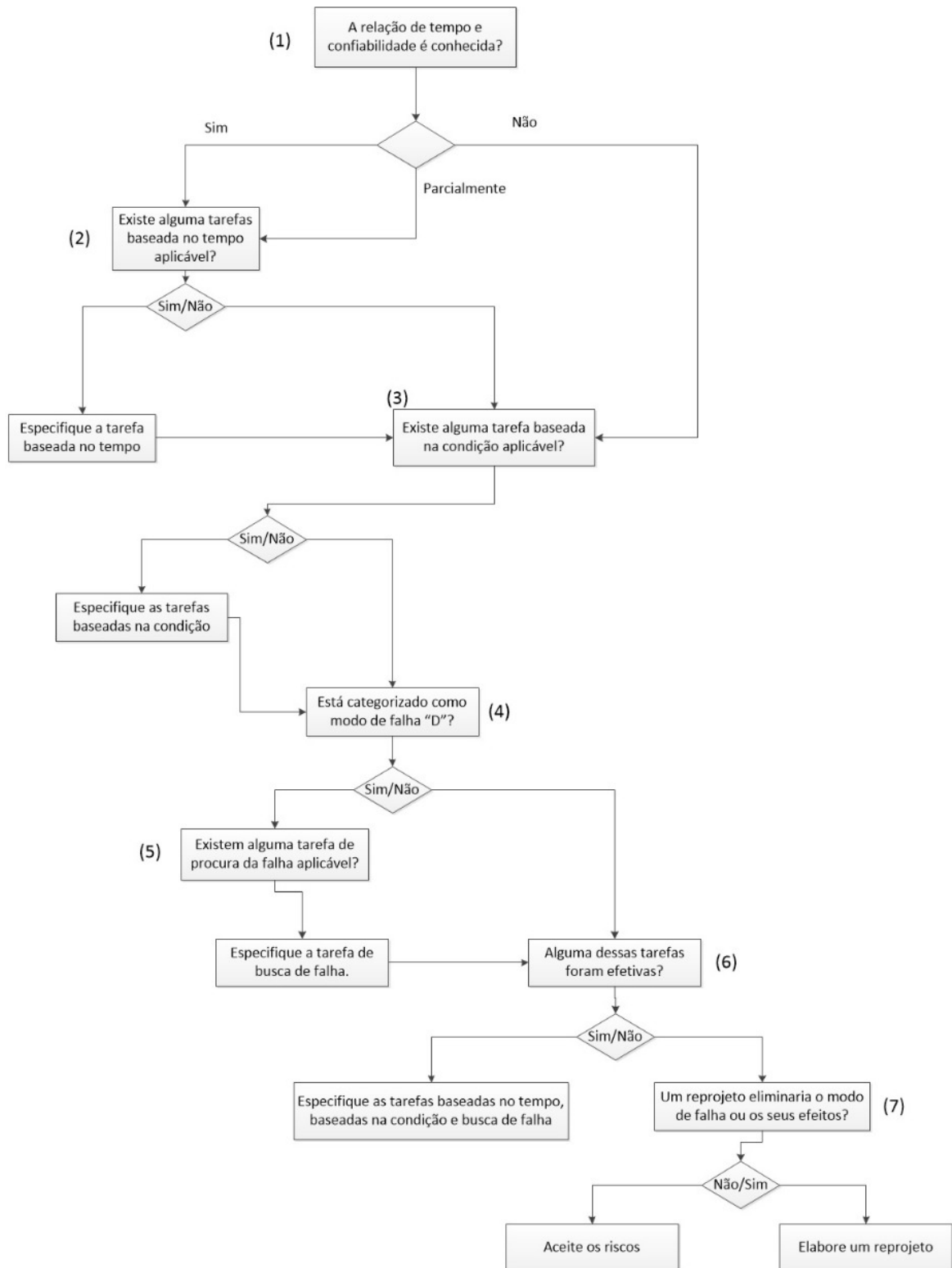
Figura 5 – Árvore Lógica de Análises de Smith e Hinchcliffe



Fonte: Adaptado de Smith e Hinchcliffe (2004).

de manutenção. Smith e Hinchcliffe (2004) apresentam a Tabela 8 para registro dessa etapa de verificação.

Figura 6 – Mapa de Seleção de Tarefa



Fonte: Adaptado de Smith e Hinchcliffe (2004).

Tabela 7 – Modelo de Planilha - Conferências das Tarefas

MCC - Análise do Sistema																
Etapa 7-2: Informação: Planta: Subistema:				Seleção de Tarefas Conferência de tarefas XRF HPA Planta Auxiliar Sistema de Bombas E2 JM3 Sistema do compressor CS2				ID. Planta: ID. Sistema: Revisão: Data:								
								00651-020304		0		14/07/1998				
Falha Funcional#	Componente#	Descrição comp.	Modo de Falha#	Modo de Falha	Eficiência Mag.	Alto Custo	Danos Sec.	Conflito OSM	Conflito int.	Conflitos Reg.	Conflitos Seg.	Falha Oculta	RFT	Seleção Tarefa	Frequência	
1.1	01	Motor E1,9KV	1.05	Falha no RTD	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	
1.1	01	Motor E1,9KV	1.06	Filtro Saturado	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	NO	NO	Reposição periódica do filtro	Mensal
1.1	03	Compressor	3.04	Vazamento de óleo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	
1.1	07	Válvula de Controle	7.01	Vazamento nas vedações	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	NO	YES	RTF	
Sistema: Subistema:				Sistema de Bombas E2 JM3 Sistema do compressor CS2												

Etapa 7-2. Seleção de Tarefas

4 APLICAÇÃO DA MCC EM SISTEMA DE DESSUFURIZAÇÃO DE GASES

4.1 Definição da metodologia

Conforme foi apresentada, a metodologia MCC tem seu conceito de manutenção bastante difundido nos meios industriais e acadêmicos, porém a sua forma clássica abordada pela maioria dos autores traz consigo grandes custos, principalmente, em homem-hora para a sua elaboração de forma correta. Esse questionamento em relação aos custos e recursos utilizados na MCC foi bastante discutido entre os estudiosos e consultores, então na década de 1990 o *Electric Power Research Institute* (EPRI) criou um projeto com o objetivo de especificar métodos de redução de custo de implantação da metodologia em usinas nucleares o qual foi publicado em 1995. Desde então, vários autores propuseram alternativas para redução desses custos, porém foram bastante criticados pela baixa qualidade dos resultados já que tais alternativas não se mostraram eficientes o bastante para compensar a redução de custo.

Então Smith e Hinchcliffe (2004), propuseram a forma abreviada do método clássico da MCC que tem a promessa de aplicar uma redução de até 20 % no custo de homem-hora em todo o processo. Para os autores essa forma de aplicação pode ser atribuída a sistemas que se enquadram com status de 20/80 dos custos de manutenção de uma planta ou apresentam uma necessidade de algumas adaptações nos seus planos de manutenção. Para NASA (2008) a forma abreviada é mais apropriada para sistemas que não desencadeiam impactos ambientais e segurança catastróficos, sistemas com redundância e sistemas com baixo custo das falhas operacionais. Portanto, essa metodologia mais simples foi escolhida para ser aplicada ao sistema de atomização que possui redundância e sistemas-reservas e, por isso, não apresenta riscos catastróficos para o meio ambiente.

Então, na metodologia abreviada de Smith e Hinchcliffe (2004), no que tange à etapa de definição das barreiras, é necessário, somente, a formalização da visão global, evitando-se, assim, o detalhamento dos limites do sistema. Na próxima etapa, é dispensada a criação dos documentos de descrição do sistema, no entanto Smith e Hinchcliffe (2004) deixam bastante claro que se faz necessária a discussão sobre seus aspectos. Portanto, nessa etapa será criado apenas o diagrama funcional do sistema que promove o entendimento sobre a separação dos subsistemas, das interfaces das funções e das saídas e entradas bem como o *System Work Breakdown Structure* (SWBS) que apresenta a lista de componentes considerados dentro dos limites do estudo. Todas as atribuições apresentadas na etapa de descrição das funções e falhas

Tabela 8 – Diferenciação entre metodologia Clássica e Abreviada.

Etapas MCC	Clássica	Abreviada
1 - Seleção do Sistema	Sim	Sim
2 - Barreira do Sistema	Sim	Modificado
- 2.1 Visão Geral das Barreiras	- Sim	-Sim
- 2.2 Detalhamento das Barreiras	- Sim	- Não
3 - Descrição do Sistema	Sim	Modificado
- 3.1 Descrição do Sistema	- Sim	- Não
- 3.2 Diagrama de blocos funcional	- Sim	-Sim
- 3.3 Entrada/Saída das Interfaces	- Sim	- Não
- 3.4 Lista de Equipamentos	- Sim	-Sim
- 3.5 Histórico do Sistema	- Sim	- Não
4 - Função e Falhas Funcionais	Sim	Sim
5 - FMEA	Sim	Sim
- 5.1 Matrix de falhas funcionais	- Sim	- Sim
- 5.2 FMEA	- Sim	- Sim
6 - Decision Tree Analysis (LTA)	Sim	Sim
7 - Seleção das Tarefas	Sim	Modificado
- 7.1 Seleção das tarefas	- Sim	- Reduzido
- 7.2 Conferência das tarefas	- Sim	- Sim
- 7.3 Comparação das tarefas	- Sim	- Não

Fonte: Adaptado de Smith e Hinchcliffe (2004)

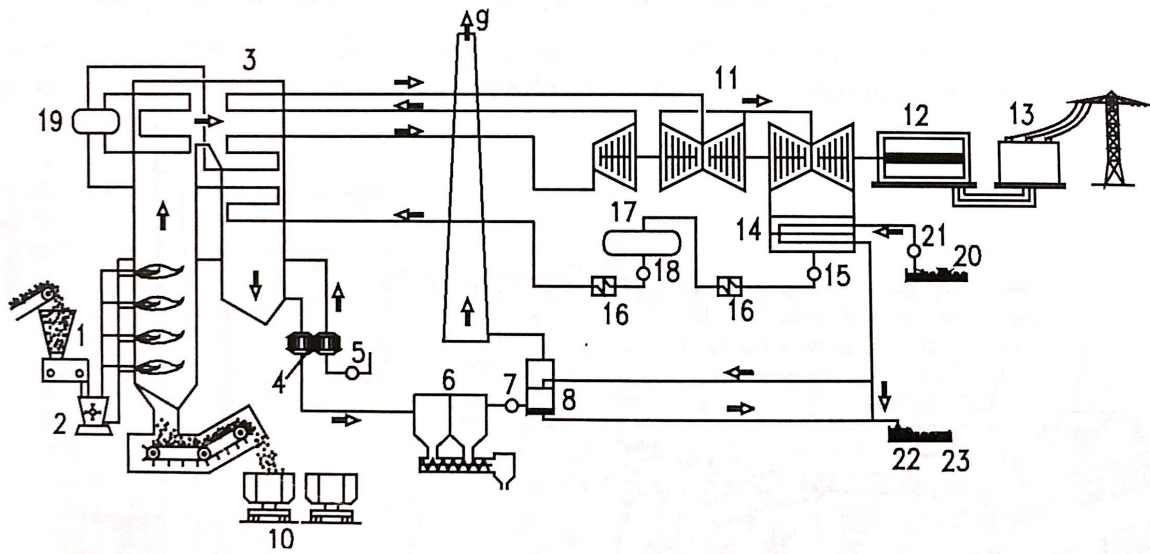
funcionais serão apresentadas na forma abreviada, assim como também para todas as etapas de modo de falhas, análise dos efeitos e na análise da árvore lógica apresentada na Figura 5.

Para a etapa de seleção das tarefas é realizada a escolha através do mapa de seleção de tarefas apresentado na Figura 6, ainda nessa etapa é usado o método de conferência das tarefas atribuídas para verificar a sua correta atribuição conforme os padrões de interesse da empresa. A Tabela 8 mostra as diferenças apresentadas por Smith e Hinchcliffe (2004) nas suas duas abordagens.

4.2 Princípio de Funcionamento de Usina Termelétrica

O ciclo de geração inicia-se na caldeira, onde ocorre a queima dos elementos combustíveis. Na partida da unidade é utilizado o óleo diesel, devido ao seu maior poder calorífico e, em seguida, é substituído por carvão, que é triturado nos moinhos antes de entrar na caldeira. O calor gerado é usado para o aquecimento da água de alimentação depositada no ebulidor de vapor, o qual tem a função de separar as fases líquidas e gasosas para reduzir o

Figura 7 – Processo de Produção Termelétrica.



Fonte: Lora e Nascimento (2009).

arrastamento de partículas de água no vapor.

Então, o vapor é enviado para a turbina de alta pressão proporcionando a transformação de energia calorífica em energia mecânica. Posteriormente, já com menor pressão e menor temperatura, o vapor retorna para um sistema de reaquecimento para um novo ganho de energia (temperatura e pressão) e é direcionado para a turbina de média pressão e, em seguida, canalizado através do *change over* para a turbina de baixa pressão. Assim, a turbina gira o eixo de um gerador, onde ocorre a transformação de energia mecânica em energia elétrica. Ao retornar da turbina de baixa pressão, o vapor é condensado nos condensadores e levado para o ebulidor de vapor através das bombas de alimentação e, assim, o ciclo é reiniciado.

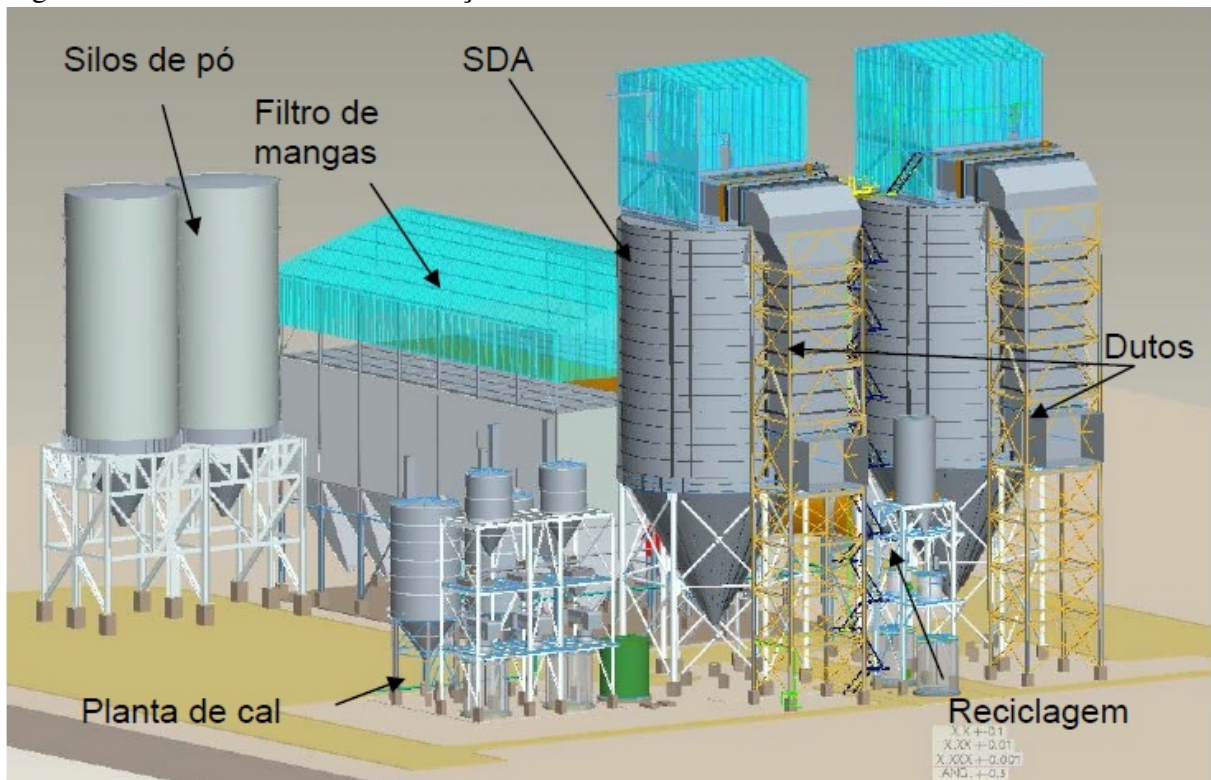
Os gases de combustão trocam calor constantemente com o vapor dentro do processo da caldeira com o intuito de lhe fornecer mais energia e aumentar a eficiência da caldeira. Apesar da grande troca de calor, os gases despendem grande quantidade de energia térmica que é bastante prejudicial para os outros equipamentos do processo. É importante frisar que a presença desses gases tóxicos devem ser mantida dentro dos limites aceitáveis, conforme a regulamentação ambiental. Assim sendo, existem sistemas dedicados ao tratamento desses gases na saída da caldeira denominados SDA e filtros de manga que, juntos, realizam as tarefas de retirada do enxofre, de diminuição da temperatura dos gases bem como da redução da emissão de particulado para a atmosfera. A Figura 7 mostra a representação do ciclo de geração de energia em uma termelétrica.

4.2.1 Sistema de Tratamento de Gases

Os gases resultantes do processo de combustão da caldeira passam por um tratamento, antes de serem lançados na atmosfera. Todo carvão mineral combustível tem em sua composição, além de outros elementos químicos, o enxofre que, durante a queima do carvão, é o mais difundido pelos gases na forma de dióxido de enxofre SO_2 e SO_3 . Portanto, o sistema deve possuir uma eficiência de remoção de SO_2 e SO_3 de 88,6 % de dióxido de enxofre, que é o precursor do ácido sulfúrico e o principal componente da chuva ácida, causadora de vários danos ao meio ambiente, dentro os quais podem ser destacados o aumento da acidez do solo que afeta fortemente o ciclo de vida de diversos seres vivos. Nos seres humanos, a chuva ácida pode causar diversas doenças respiratórias. Além disso, o processo de queima produz uma grande quantidade de material sólido. As cinzas resultantes causam problemas respiratórios aos seres vivos e contaminação da água e do solo. Diante disso, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) regula a emissão desses gases sob pena de pagamento de grandes multas.

O sistema de dessulfurização desenvolvido pela empresa Enfil S/A - Controle Ambiental, denominado de *Flue Gases Desulfurization* (FGD) que é composto por dois sistemas principais, o SDA e os filtros de manga. O FGD tem como principal objetivo a redução destes

Figura 8 – Sistema de Dessulfurização de Gases - Estrutura Física.



Fonte: Adaptado de ENFIL S/A. (2009).

poluentes contidos nos gases de combustão provenientes da caldeira a carvão mineral, reduzindo o enxofre (na forma de SO₂ e SO₃) e o excesso de material particulado, como as cinzas. O sistema, como mostrado na Figura 8 é composto por duas torres absorvedoras com três atomizadores em cada, os silos e tanques de armazenagem de cal e água, os filtros e manga e os silos de armazenagem de cinzas.

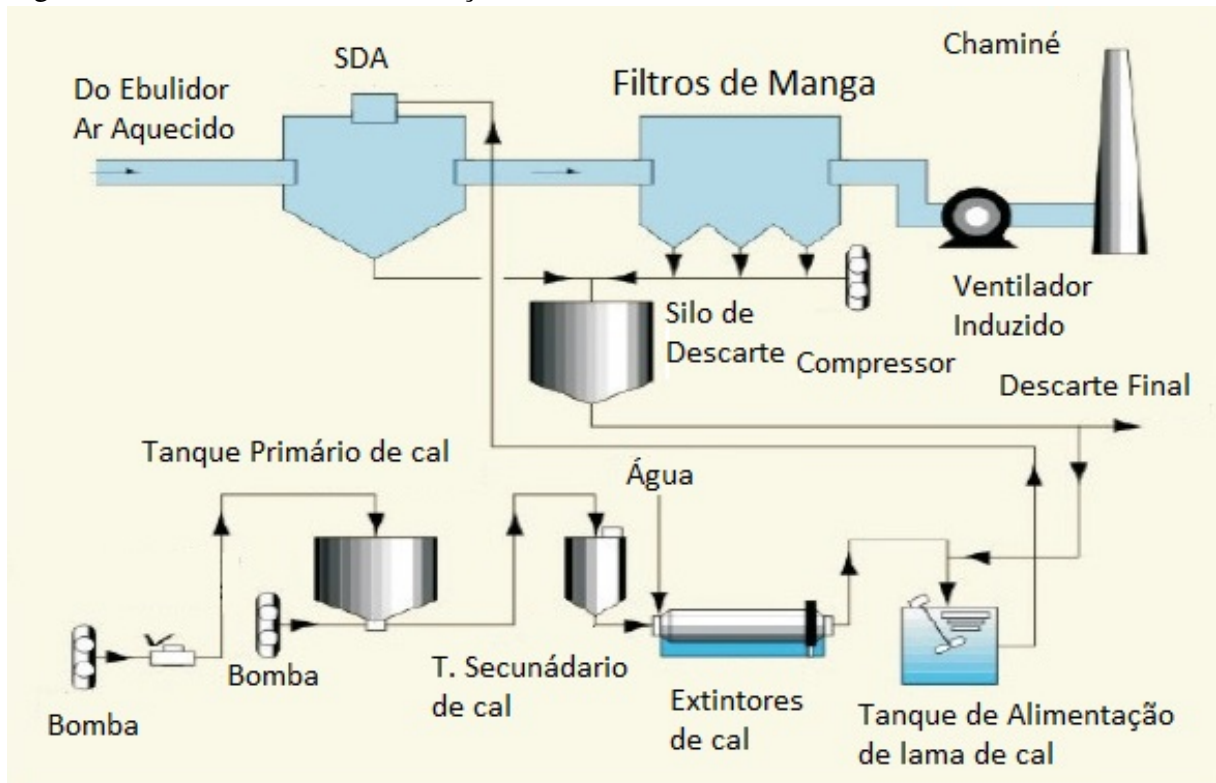
Os gases do processo são enviados para dentro da torre absorvedora, onde entram em contato com o spray de lama de cal (água + hidróxido de cálcio, CaO). A lama de cal é produzida nos tanques de mistura, os quais são alimentados pelos silos cal, tanques de água e tanques reciclo das cinzas resultantes do processo de atomização. O spray de lama de cal é gerado por atomizadores rotativos de alta velocidade.

As reações químicas que ocorrem dentro das torres são de neutralização ácido-base como observado abaixo:



Ao final da reação, é gerado um precipitado que se acomoda no fundo da torre e a parte gasosa, com pouca presença de SO₂, porém com alta concentração de sais e materiais particulados que não reagiram, é direcionada para os filtros de manga. Nesse local, os gases e outros materiais atrelados passam através das mangas, onde a maior parte do material particulado é retido nos tecidos filtrantes. Ao final do processo, restam pequenas quantidades de particulado e os gases limpos são direcionados para a atmosfera por um ventilador de tiragem induzida. A Figura 9 apresenta o fluxograma do processo dentro do sistema de dessulfurização.

Figura 9 – Sistema de Dessulfurização de Gases - Visão Geral do Processo.

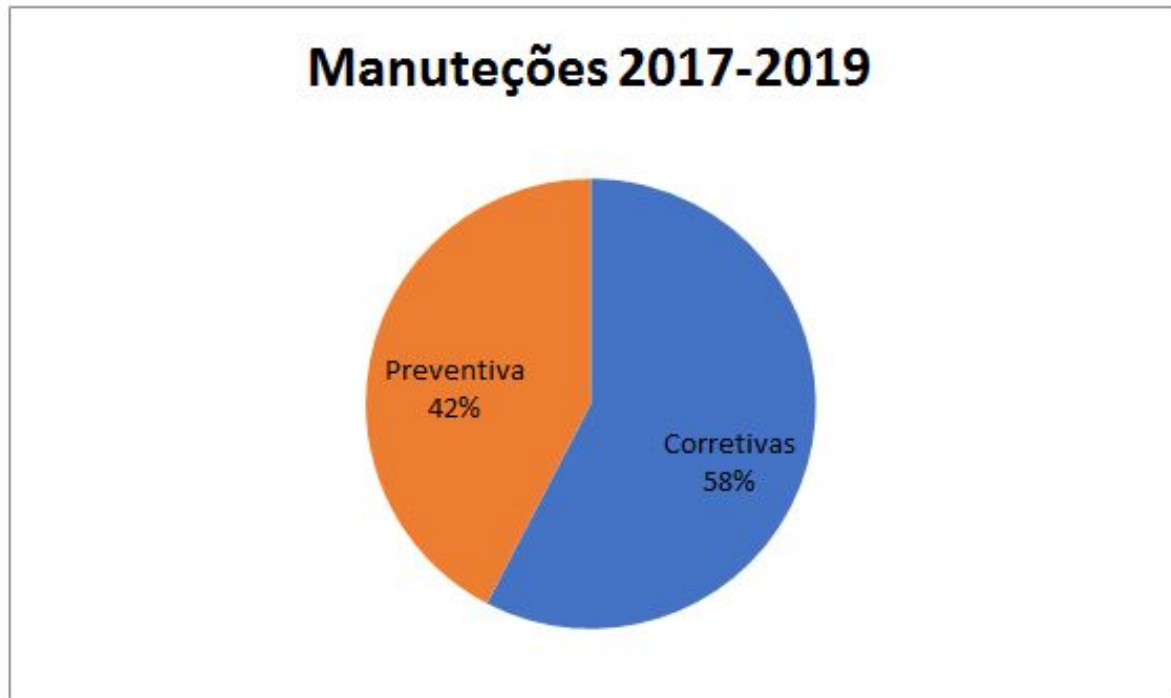


Fonte: Adaptado de ENFIL S/A. (2009).

4.3 Primeira Etapa - Seleção do sistema de estudo e coleta de informações.

O sistema de atomização, localizado no FGD, é um dos principais componentes do SDA, visto que é o responsável pela criação do spray de lama da cal que inicia o processo de dessulfurização. Cada torre de dessulfurização possui três atomizadores, sendo um mantido como reserva. O sistema tem capacidade de suportar a planta em operação em carga plena com apenas com dois atomizadores em funcionamento por torre de dessulfurização. Apesar disso, esse é um sistema de grande preocupação, pois possui uma alta frequência de falhas e sua indisponibilidade pode causar a interrupção da produção de energia pela incapacidade do processamento dos gases. Além do sistema de atomização ser um problema bastante evidente para toda a equipe de manutenção, foi levantada no banco de dados de manutenção, a grande ocorrência de tarefas corretivas. De acordo com o histórico de manutenções, nos dois anos foram realizadas 439 manutenções das quais 253 apresentam-se como manutenções corretivas e 186 como manutenções preventivas, como mostrado na Figura 10. O alto número de manutenções corretivas não programadas devem-se, principalmente, à falta de um maior entendimento do sistema, como, por exemplo, o modo de operação, degradação das partes, recomendações dos fabricantes etc.

Figura 10 – Proporcionalidade das Manutenções Realizadas.



Fonte: Próprio Autor.

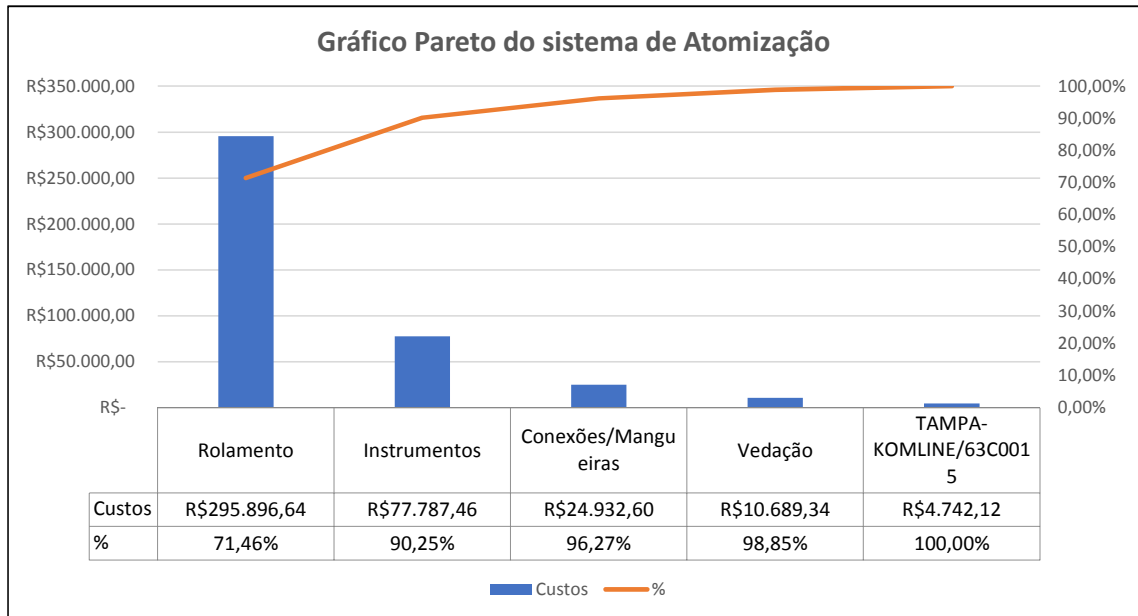
Foi realizado, também, o Gráfico de Pareto dos custos de manutenção do sistema de atomização. Esses somados, representam um custo total de R\$ 414.048,16 que são distribuídos principalmente em rolamentos, instrumentos, conexões e mangueiras, anel de vedação e itens do corpo do atomizador. A distribuição pode ser visualizada na Figura 11.

Além disso, é notória a necessidade de um estudo e a criação de planos de manutenção específica para esses equipamentos, principalmente para a parte do sistema mecânico e de instrumentação. Por esses motivos o sistema de atomização foi selecionado para a implantação do presente estudo.

4.4 Segunda Etapa - Definição das Barreiras do Sistema.

Inicialmente, o estudo foi idealizado apenas com o sistema de atomização. Foram excluídos das análises todos os sistemas de suprimento, como por exemplo, o sistema dos chillers que promovem o fornecimento de água para o sistema de resfriamento, bem como o sistema de ar comprimido, essencial para o sistema de ar de selagem e de lubrificação. Foi considerado que todos esses sistemas estão operando de acordo com o projeto. O motivo dessa consideração foi

Figura 11 – Custos de Manutenção 2017-2018



Fonte: Próprio Autor.

a busca, primeiramente, pelo aprimoramento da técnica MCC para a expansão do estudo para todo o sistema do SDA de forma correta. Portanto, os limites do sistema considerados são as entradas de fornecimento de cada subsistema e a saída da lama de cal atomizada. Como proposto por Smith e Hinchcliffe (2004), para registrar essa etapa foram elaboradas as documentações representadas nas Tabelas 9 e Tabela 10. Para o melhor entendimento os limites considerados no estudo são apresentados na Tabela 11.

4.5 Terceira Etapa - Descrição e diagrama de Blocos.

O sistema dos atomizadores é composto pelo Controle do Sistema Atomizador (CSA) que provê o monitoramento completo dos sistemas auxiliares do painel de lubrificação, o qual promove, além do fornecimento do óleo lubrificante, a distribuição de ar de selagem, água de resfriamento e água de lavagem para o arranjo do atomizador. No painel, encontram-se os instrumentos de medição de pressão e fluxo, válvula solenoides, reguladores de pressão e fluxo, filtros e mangueiras.

O controle é realizado através de um Controlador Lógico Programável (CLP) conectado a todos os instrumentos e válvulas do painel. Além disso, o atomizador possui um Motor de Indução Trifásico (MIT), o qual funciona rotacionando a 10.000 rpm inserido na parte de cima do silo para a criação da nuvem de leite de cal.

Tabela 9 – Planilha de Definição de Barreiras Etapa 2.1 - Sistema de Lubrificação.

MCC - Análise do Sistema			
Etapa 2-1:	Definição das Barreiras do Sistema	ID Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informações:	Barreiras do Estudo	ID Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta:	Dessulfuração de Gases	Rev:	0
Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Atomizador		

Principais Equipamentos

Válvulas Soleinodes
 Indicadores de Pressão
 Indicadores de vazão
 Sensor de vibração
 Sensor de temperatura
 Filtros
 Motor de Indução
 Bomba de Vácuo
 Controlador Lógico Programável
 Inversor de frequência
 Disco de atomização
 Anodo de Sacrifício

Barreira Física Primária

Começa com:

A entrada de suprimentos (ar e água) através das tubulações passando pelos filtros
 A entrada de lama de cal no sistema de atomização

Termina com:

A formação do fluído atomizado e seu despejo no silo do .SDA

Observações:

Os sistema que fornecem suprimento para o atomizador não é considera nesse estudo. Apenas é considerado o Inversor de frequência que controla a rotação do motor.

Sistema:	SDA
Subsistema:	Atomizador
Etapa 2-1 Barreiras do Sistema	

Fonte: Próprio Autor.

O CSA é conectado ao atomizador por um ‘cordão umbilical’ que leva todas as mangueiras de suprimentos e o cabeamento dos instrumentos internos ao encapsulamento. Além disso, existem as conexões de alimentação que são fornecidas *Variable Frequency Drive* (VFD) que também realiza o controle da rotação, bem como a proteção do motor.

Para este estudo, foi adotada a divisão em subsistemas a fim de facilitar o entendimento e prosseguimento da metodologia. Para isto, os subsistemas definidos foram os de ar de instrumento, ar de selagem, fornecimento de água de resfriamento, mangueiras e conexões, lubrificação, água potável/água de lavagem, válvulas manuais, componentes mecânicos, componentes

elétricos e instrumentos de sensoriamento e medição.

Smith e Hinchcliffe (2004) recomendam, para completa descrição do sistema a criação de um diagrama de blocos, visto ser uma excelente ferramenta para visualizar as entradas e saídas de cada subsistemas e como os equipamentos e subsistemas interagem uns com os outros. Assim também, um completo diagrama de blocos é uma importante fonte de informação para a determinação das funções de cada dispositivo do estudo. Portanto, foi elaborado um diagrama de bloco que fornece todas essas informações de maneira bastante eficiente. A Figura 12 apresenta o modelo do diagrama de blocos desenvolvido.

Além disso, como recomendado por Smith e Hinchcliffe (2004), foi elaborada uma lista dos componentes do estudo chamada por esses autores de SWBS cujo o principal intuito de evitar que entre nos estudos equipamentos que não estão dentro das barreiras determinadas na etapa anterior. A lista de componentes pode ser observada na Tabela 12.

Tabela 10 – Planilha de Definição de Barreiras Etapa 2.2 - Sistema de Lubrificação.

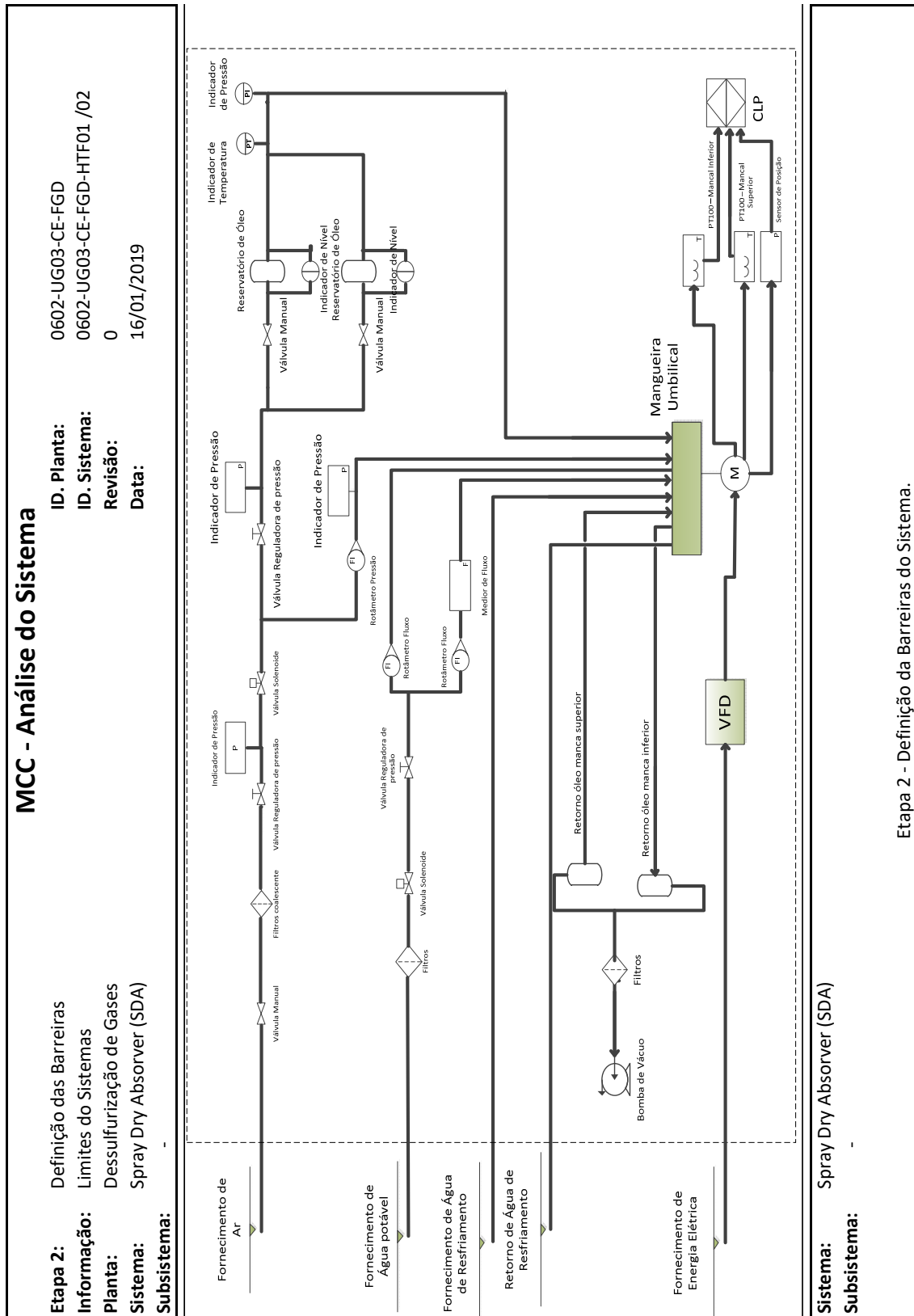
MCC - Análise do Sistema		
Etapa 2-2:	Definição das Barreiras do Sistema	ID Planta: 0602-UG03-CE-FGD
Informações:	Barreiras do Estudo	ID Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta:	Dessulfuração de Gases	Rev: 0
Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)	Data: 16/01/2019
Subsistema:	Atomizador	

TIPO	Barreira do Sistema	Localização da Interfase
Entrada	Entrada de fornecimento de ar.	Ao lado do painel de Lubrificação.
Entrada	Entrada de fornecimento de água de refrigeração	Ao lado do painel de Lubrificação.
Entrada	Entrada de água de lavagem	Ao lado do painel de Lubrificação.
Entrada	Fornecimento de energia ao Inversor de Frequência.	Sala 49.
Saída	Entrada de lama de Cal.	Parte de cima do Atomizador.

Sistema:	SDA
Subsistema:	Atomizador
Etapa 2-2 Barreiras do Sistema	

Fonte: Próprio Autor.

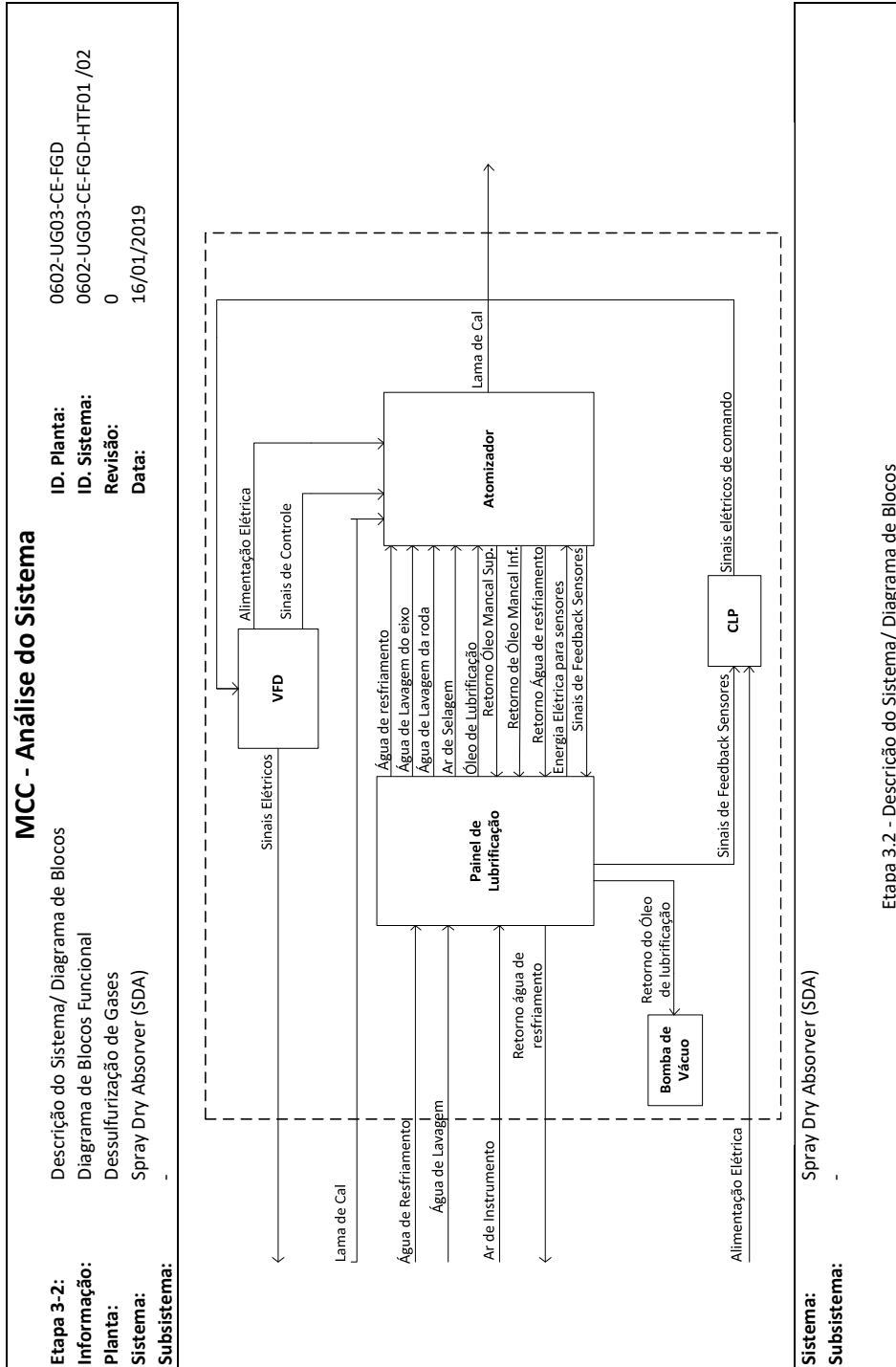
Tabela 11 – Esquemático de Definição das Barreiras.



Etapa 2 - Definição da Barreiras do Sistema.

Fonte: Próprio Autor.

Figura 12 – Diagrama de Blocos Funcional.



Etapa 3.2 - Descrição do Sistema/ Diagrama de Blocos

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 12 – Sistema de Dessulfurização de Gases.

MCC- Análise de Sistema			
Etapa 3-3:	Lista de componentes (SWBS)	ID da Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Lista de componentes (SWBS)	ID do Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta:	Dessulfurização de Gases	Data:	16/01/2019
Systema:	Spray Dry Absorver (SDA)	Revisão:	0
Subsistema:	-		

Componente	Descrição componente	Quantidade Instalada
01	Filtros Coalescedores	1
02	Filtro fino	1
03	Filtro grosso	4
04	Válvula Proporcional de 3 vias c/ soleinoide	1
05	Regulador de pressão de ar 5-60 Psig	1
06	Rotâmetro de ar, 0-4 SCFM	1
07	Reservatório de Óleo Microfog	2
08	Chave de nível	2
09	Válvula Agulha	3
10	Transdutor de pressão	2
11	Reservatório de retorno de óleo	1
12	Filtro retorno de óleo	1
13	Bomba de Vacuo	1
14	Indicador de pressão do óleo de lubrificação	1
15	Conjunto de Filtros e deionizador	1
16	Válvula solenoide	1
17	Regulador/Indicador de Pressão de água de lavagem	1
18	Rotâmetro de água de lavagem	1
19	Chave de fluxo	2
20	Indicador de temperatura	1
21	Rolamentos	2
22	Eixo	1
23	Defletor	1
24	O-rings	-
25	Disco de atomização	1
26	Sensor de flag	1
27	Molas de compressão	16
28	Anodo de sacrifício	1
29	Motor de Indução	1
30	Variador de Frequência (VFD)	1
31	Controlador Lógico Programável (CLP)	1
32	Sensor de temperatura	2
33	Sensor de vibração	1
34	Sensor de giro do motor	1
35	Sensor de posição	1

Sistema:	Spray Dry Absorver (.SDA)
Subsistema:	Sistema de Atomização
Etapa 3-2 Diagrama de Blocos	

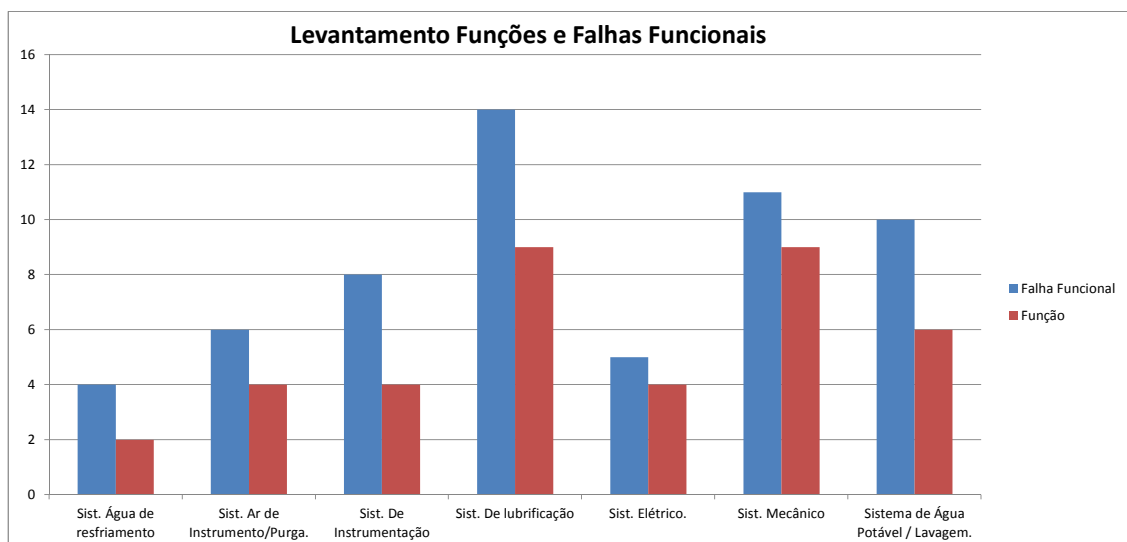
Fonte: Próprio Autor.

4.6 Quarta Etapa - Identificação das Funções e falhas funcionais

A partir dessa etapa, é utilizada a ferramenta de análise de falha FMEA a qual é citada por diversos autores mencionados nesse estudo como a principal ferramenta de auxílio na MCC. Para realização da identificação das funções foi utilizado o modelo da Tabela 2 como suporte na organização e elaboração das descrições de cada subsistema e informações das suas

funções e parâmetros dos principais componentes. Para a definição das funções foram usados como fonte de informação o manual de manutenção e operação do sistema de atomização. Felizmente, esse se apresenta bastante completo e rico de informações. Além disso, foram consultados os técnicos e operadores do sistema que apresentaram uma visão prática do manejo dos equipamentos. Então, foram listadas as funções gerais do sistema, visando considerar, com a maior abrangência possível, as funções principais e secundárias de cada equipamento analisado. Logo após, foi possível a identificação as prováveis falhas funcionais de cada equipamento. Foi observado que, geralmente, um equipamento possui mais de uma possível falha funcional. A Figura 13 apresenta o levantamento das funções e falhas funcionais consideradas nesse estudo, bem como a essas estão distribuídas nos subsistemas.

Figura 13 – Levantamento de Funções e Falhas Funcionais.



Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos da análise dessa etapa do subsistema de lubrificação. Os resultados obtidos nessa etapa para os outros subsistemas podem ser encontrados no apêndice A.

Além disso, foi criada a matriz de falhas funcionais, apresentada no apêndice B a qual relaciona todas as falhas funcionais descritas no estudo com os equipamentos em que ocorrem. Essa é de fundamental importância porque permite que a equipe de análise de falha possa ter uma melhor visão das falhas no sistema.

Tabela 13 – Planilha de Funções e Falhas Funcionais - Sistema de Lubrificação.

MCC - Análise do Sistema			
Etapa 4:	Funções e Falhas Funcionais.	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Descrição das Funções e Falhas Funcionais.	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01
Planta:	Dessulfurização de Gases	Revisão:	0
Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Sist. De lubrificação		

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
2.1		Promover a mistura de ar e óleo para lubrificação dos mancais.
	2.1.1	Não promover a mistura de ar e óleo.
	2.1.2	Não armazenar o óleo.
2.2		Indicar nível de óleo baixo e muito baixo no reservatório.
	2.2.1	Não indicar nível baixo e muito baixo de óleo.
	2.2.2	Indicar incorretamente o nível de óleo no reservatório.
2.3		Regular a pressão no sistema de lubrificação.
	2.3.1	Não regular a pressão no sistema de lubrificação.
	2.3.2	Regular incorretamente a pressão do sistema de lubrificação.
2.4		Indicar pressão para o sistema de monitoramento (CLP).
	2.4.1	Não enviar o sinal de leitura para o CLP.
	2.4.2	Enviar sinal incorrente de leitura para o CLP.
2.5		Indicar condição do óleo (visual).
	2.5.1	Não indicar visualmente a condição do óleo.
2.6		Armazenar parte do óleo retornado dos mancais.
	2.6.1	Não armazenar o óleo retornado dos mancais.
2.7		Retirar qualquer contaminante (sólidos e líquidos) que possa ter se infiltrado no sistema.
	2.7.1	Não fazer a filtragem adequada.
2.8		Criar uma pressão negativa para retirar o ar/óleo do sistema.
	2.8.1	Não criar o diferencial de pressão entre 10 - 25 Psig
2.9		Indicar pressão da linha de névoa.
	2.9.1	Não indicar pressão da linha de névoa.
	2.9.2	Indicar a pressão incorretamente.

Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema:	Sist. De lubrificação
Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais	

Fonte: Próprio Autor.

4.7 Quinta Etapa - Modo de falha e Análise dos Efeitos

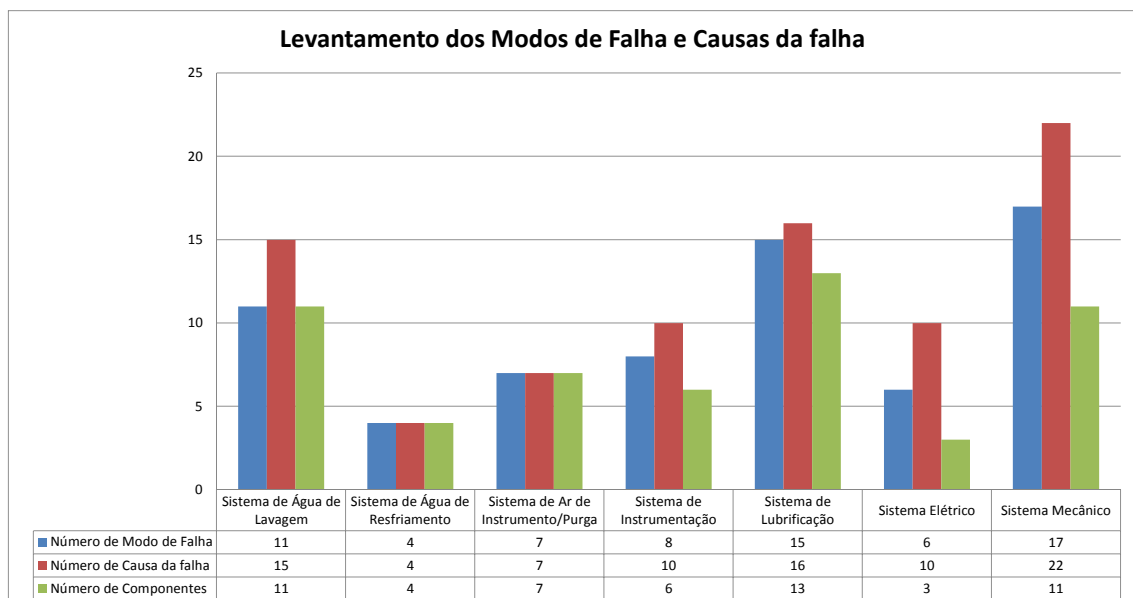
Nesta etapa são consideradas e discutidas todas as formas de como os equipamentos podem falhar. Para isso, a equipe precisou estudar com detalhe a forma de operação e o ambiente no qual os equipamentos estão inseridos visto que todas essas considerações podem influenciar na forma como um dispositivo pode falhar. Assim, foram levantados os efeitos de todos os

modos de falha. Como apresentado na Figura 14 pode ser observado que o sistema mecânico foi o subsistema que apresentou o maior número de modos e causas de falha. Isto se explica devido ao maior número de itens apresentado por esse subsistema. O subsistema que apresentou o maior número de modos e causas de falhas em relação ao número de itens foi o subsistema elétrico devido às suas falhas ocorrerem, principalmente, por causa das falhas no sistema de vedação (subsistema mecânico e de ar de purga).

Na planilha dos efeitos e consequências dos modos de falha foram associados as suas causas através de uma identificação sequencial em função do modo de falha de cada componente, esta identificação forma o código de identificação do modo de falha.

Como orientado por Smith e Hinchcliffe (2004), foram considerados os efeitos em três âmbitos diferentes. Na percepção do local, na percepção do sistema e na percepção da planta. Essa análise fornece uma importante visão dos efeitos em diferentes níveis e provê a equipe de estudo de um melhor entendimento sobre o sistema. Além disso, provê uma maior confiabilidade sobre como o modo de falha se relaciona com a falha funcional em questão. A Tabela 14 apresenta o resultado obtido nessa etapa para o subsistema de lubrificação. Os resultados obtidos para os demais subsistemas nessa etapa encontraram-se no apêndice C.

Figura 14 – Levantamento de Modos de Falha e Causas das Falhas



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 14 – Planilha de Modos de Falhas e Análise de Efeitos - Sistema de Lubrificação

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Modo de Falha#	Causa da Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito da Falha		LTA	
							Local	Sistema		
2.1.1	07	Reservatório de Óleo Microflog.	07.01	07.01.1	Diferencial de pressão do ar insuficiente.	Pressão incorreta da linha de ar.	Lubrificação insuficiente dos mancais.	Aumento de temperatura dos mancais.	Desligamento do sistema de atomização.	s
2.1.2	07	Reservatório de Óleo Microflog.	07.02	07.02.1	Vazamento.	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Lubrificação insuficiente dos mancais.	Aumento de temperatura dos mancais.	Desligamento do sistema de atomização.	s
2.2.1	08	Chave de nível.	08.01	08.01.1	Quebra de partes internas.	Desgaste mecânico.	Lubrificação insuficiente dos mancais.	Aumento de temperatura dos mancais.	Desligamento do sistema de atomização.	s
2.2.2	08	Chave de nível.	08.02	08.02.1	Quebra de partes internas.	Desgaste mecânico.	Lubrificação insuficiente dos mancais.	Aumento de temperatura dos mancais.	Desligamento do sistema de atomização.	s
2.3.1	09	Válvula Agulha	09.01	09.01.1	Quebra do mecanismo de fechamento.	Desgaste mecânico.	Perda da habilidade de regulação de pressão do sistema.	Aumento de temperatura dos mancais por falta de lubrificação.	Desligamento do sistema de atomização.	s
2.4.1	10	Transdutores	10.01	10.01.1	Queima do transdutor	Sobretensão da alimentação elétrica.	Perda dos sinais dos parâmetros de operação.	Desligamento do sistema por falta de sinal de monitoramento.	Desligamento do sistema por falta de sinal de monitoramento.	s
2.5.1	11	Reservatório de retorno de óleo	11.01	11.01.1	Sujeira nas paredes internas do reservatório.	Não esvaziamento e limpeza do reservatório antes do funcionamento do atomizador.	Perda da certificação que o sistema está rodando sem impurezas.	Possibilidade de aumento da temperatura nos mancais por problema de lubrificação.	Possibilidade de Desligamento do sistema por falta de sinal de monitoramento.	s
2.6.1	11	Reservatório de retorno de óleo	11.02	11.02.1	Quebra do reservatório.	Danos mecânicos.	Derramamento de óleo no local.	Perda da pressão de vácuo.	Desligamento do sistema por falta de vácuo.	s

MCC - Análise do Sistema

Etapa 5-2: Modo de falha e Análise dos Efeitos
 ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
 ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01/02
 Revisão: 0
 Data: 16/01/2019
 Planta: Desulfurização de Gases
 Sistema: Spray Dry Absorber
 Subsistema: Sistema de Lubrificação

Fonte: Próprio Autor.

4.8 Sexta Etapa - Análise por Árvore Lógica

Nessa etapa são definidas as consequências de cada modo de falha. Para isso foi utilizada a árvore lógica apresentada na Figura 5 proposta por Smith e Hinchcliffe (2004). As perguntas presentes na árvore lógica devem ser respondidas conforme o posicionamento de cada instituição. Para esse estudo foi considerada como questão de segurança qualquer consequência que possa provocar lesões graves a qualquer funcionário próximo ao sistema. Isso é bastante importante porque, apesar do atomizador localizar-se no interior de um poço de cinco metros de profundidade, o sistema funciona em uma rotação muito elevada, o que aumenta muito a gravidade de acidentes caso ocorra qualquer falha em alguns dos dispositivos de segurança.

Os critérios adotados para a classificação entre consequências com impactos econômicos ou relacionados a problemas de indisponibilidade foram definidos da seguinte forma: aqueles que provocam o desligamento do sistema de atomização foram considerados como consequência de indisponibilidade da planta de dessulfurização, já os que apresentam apenas prejuízo aos padrões operacionais foram classificados como problemas econômicos. Portanto, a Tabela 15 e a Tabela 16 apresentam os resultados obtidos nessa etapa para o sistema de lubrificação. Os demais resultados encontram-se no apêndice D.

Tabela 15 – Planilha de Análise de Árvore Lógica - Sistema de Lubrificação.

MCC - Análise do Sistema									
Etapa 6:		Análise da Árvore Lógica		ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD		ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02			
Informação:		Críticidade dos Modos de Falha		Revisão: 0		Data: 16/01/2019			
Planta:		Dessulfurização de Gases							
Sistema:		Spray Dry Absorber (SDA)							
Subsistema:		Sistema de Lubrificação							
Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria	
2.1.1	07	Reservatório de Óleo Microfóg.	07.01	Diferencial de pressão do ar insuficiente.	S	N	S	B	
2.1.2	07	Reservatório de Óleo Microfóg.	07.02	Vazamento.	S	N	S	B	
2.2.1	08	Chave de nível.	08.01	Quebra de partes internas.	S	N	S	B	
2.2.2	08	Chave de nível.	08.02	Quebra de partes internas.	S	N	S	B	
2.3.1	09	Válvula Agulha	09.01	Quebra do mecanismo de fechamento.	S	N	S	B	
2.4.1	10	Transdutores	10.01	Queima do transdutor.	S	N	S	B	
2.5.1	11	Reservatório de retorno de óleo	11.01	Sujeira nas paredes internas do reservatório.	S	N	S	C	
2.6.1	11	Reservatório de retorno de óleo	11.02	Quebra do reservatório.	S	N	S	B	
2.7.1	12	Filtros.	12.01	Saturação dos filtros.	S	N	N	C	

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 16 – Planilha de Análise de Árvore Lógica - Sistema de Lubrificação (continuação).

2.7.1	12	Filtros.	12.02	Montagem incorreta do filtro.	S	N	N	C
2.8.1	13	Bomba de vácuo	13.01	Queima do motor.	S	N	S	B
2.8.1	13	Bomba de vácuo	13.02	Quebra do acoplamento.	S	N	S	B
2.8.1	13	Bomba de vácuo	13.03	Quebra ou deterioração dos componentes.	S	N	S	B
2.9.1	14	Indicador de pressão do óleo de lubrificação.	14.01	Quebra do instrumento.	S	N	S	B
2.9.2	14	Indicador de pressão do óleo de lubrificação.	14.02	Não está calibrado.	S	N	N	C
Sistema:		Spray Dry Absorber (SDA)						
Subsistema:		Sistema de Lubrificação						
Etapa 6 - Análise da Árvore Lógica								

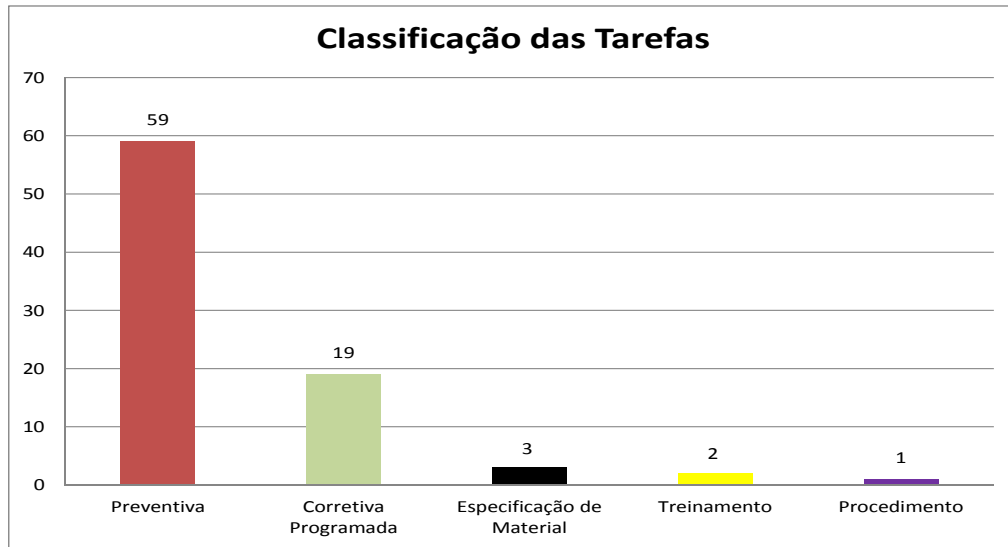
Fonte: Próprio Autor.

4.9 Sétima Etapa - Seleção das Tarefas

Nessa etapa foram selecionadas as tarefas de manutenção para cada modo de falha determinados nas etapas anteriores. Para esse fim, como apontado por Smith e Hinchcliffe (2004) foi utilizado o mapa de seleção de tarefas mostrado na Figura 6. Essa é uma ferramenta que facilita bastante a classificação da tarefa adequada ao modo de falha. O autor deixa em aberto a possibilidade do uso da ferramenta, porém para esse estudo todas as tarefas foram escolhidas de acordo o mapa. Portanto, com a ajuda de toda a equipe técnica foram criadas as tarefas de manutenção para cada subsistema.

Smith e Hinchcliffe (2004) apresentam vários questionamentos para a verificação da

Figura 15 – Distribuição das Tarefas entre os Subsistemas.

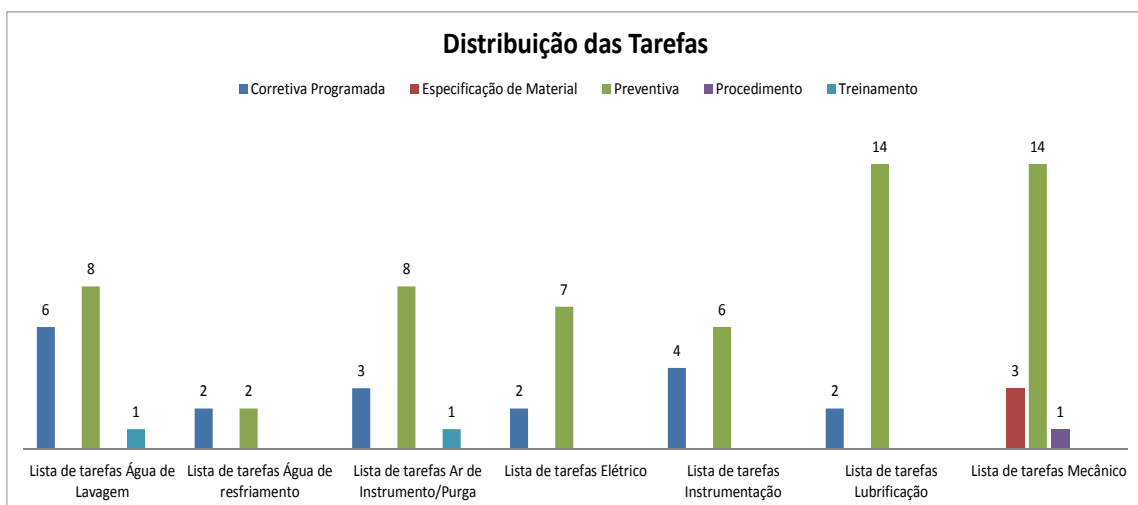


Fonte: Próprio Autor.

correta atribuição das tarefas RTF, visto ser uma decisão que necessita de vários pontos de vista para que uma má interpretação não provoque grandes danos econômicos para a companhia. Os questionamentos citados na seção 3.4.6 foram realizados e a Tabela 17 apresenta os resultados dessa etapa.

Portanto, essa última etapa foi possível a determinação de oitenta e três atividades de manutenção, treinamentos, criação de procedimentos e especificação de materiais. A Figura 16 apresenta como essas tarefas foram distribuídas entre suas classificações.

Figura 16 – Levantamento das Tarefas por Subsistema.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 17 – Análise das Tarefas Corretivas Programadas.

MCC - Análise do Sistema															
Etap 7.2: Seleção de Tarefas			ID. Planta: 0602-UG03-CF-FGD												
Informação: Confidência de tarefas			ID. Sistema: 0602-UG03-CF-FGD-HTF01/02												
Planta: Planta dessulfurização de Gases			Revisão: 0												
Sistema: Sistema de Atomização			Data: 14/07/1998												
Subsistema: .															
Falha Funcional#	Componente#	Descrição comp.	Modo de Falha#	Modo de Falha	Eficiência Mag.	Alto Custo	Danos Sec.	Conflito O&M	Conflito Conflicto int.	Conflitos Reg.	Conflitos Seg.	Falha Oculta	RFT	Seleção Tarefa	Frequência
1.2.1	04	Válvula Proporcional de 3 vias c/ solenóide	04.02	Queima da solenóide.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
1.4.1	06	Rotâmetro de ar, 0-4 SCFM	06.01	Desgastes e quebra das partes internas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
3.2.1	16	Válvula solenóide	16.01	Queima da solenóide.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
3.4.1	18	Rotâmetro de água de lavagem	18.01	Quebra do rotâmetro	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
3.6.1	19	Chave de Fluxo	19.01	Queima do equipamento.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
4.1.1	19	Transdutor	19.01	Queima do transdutor	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
4.2.1	20	Indicador de temperatura	20.03	Queima do instrumento.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
7.2.1	33	Sensor de vibração	33.01	Queima do sensor	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
7.3.1	34	Sensor de giro do motor	34.01	Queima do sensor	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
7.4.1	35	Sensor de posição	35.01	Queima do sensor	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
2.4.1	10	Transdutor	10.01	Queima do transdutor	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	RTF	RTF
Sistema: Sistema de Atomização															
Subsistema: .															

Etap 7.2. Seleção de Tarefas

Fonte: Próprio Autor.

As tabelas 18 e 19 apresentam as tarefas criadas para o subsistema de lubrificação e as tabelas referentes aos outros subsistemas podem ser visualizados no apêndice E.

Tabela 18 – Planilha de Seleção de Tarefas.

MCC - Análise do Sistema												
Etapas 7-1: Seleção de Tarefas Processo de Seleção e Decisão Dessulfurização de Gases Spray Dry Absorber (SDA) Sistema de Lubrificação		ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02 Revisão: 0 Data: 16/01/2019										
Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	1	2	3	4	5	6	7	Frequência
2.1.1	07	07.01	Diferencial de pressão do ar insuficiente.	07.01.1	N	S	N	S	S	N	S	Sempre que entrar em operação.
2.1.2	07	07.02	Vazamento.	07.02.1	P	S	N	S	S	N	S	Semestral
2.2.1	08	08.01	Quebra de partes internas.	08.01.1	S	S	N	S	S	N	S	Trimestral
2.2.2	08	08.02	Quebra de partes internas.	08.02.1	S	S	N	S	S	N	S	Trimestral
2.3.1	09	09.01	Quebra do mecanismo de fechamento.	09.01.1	S	S	N	S	S	N	S	Trimestral
2.4.1	10	10.01	Queima do transdutor	10.01.1	P	S	N	S	S	N	S	-
2.5.1	11	11.01	Sujeira nas paredes internas do reservatório.	11.01.1	S	S	N	S	S	N	S	Sempre que entrar em operação.
2.6.1	11	11.02	Quebra do reservatório.	11.02.1	P	S	N	S	S	N	S	Sempre que entrar em operação.
2.7.1	12	12.01	Saturação dos filtros.	12.01.1	S	S	N	S	S	N	S	Trimestral

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 19 – Planilha de Seleção de Tarefas (continuação).

12	12.02	12.02.1	Montagem incorreta do filtro.	12.02.1	N - S - N - S -	Realizar inspeção nas condições de montagem dos filtros.	Trimestral
2.8.1	13.01	13.01.1	Queima do motor.	13.01.1	P - S - N - S -	Realizar inspeções e teste elétricos para verificação de condição do motor	Bimestral
13	13.02	13.02.1	Quebra do acoplamento.	13.02.1	P - S - N - S -	Fabricação de base planta para fixação do grupo motor-bomba.	-
13		12.02.2		12.02.2	S - S - N - S -	Inspeção na condições do filtro do reservatório de óleo e se necessário realizar a troca.	Trimestral
14	13.03	13.03.1	Quebra ou deterioração dos componentes.	13.03.1	P - S - N - S -	Realizar inspeções e teste elétricos para verificação de condição do motor	Bimestral
2.9.1	14.01	14.01.1	Quebra do instrumento.	14.01.1	S - S - N - S -	Inspeção na condições do indicador, verificando os valores em campo e no DCS, se necessário realizar troca.	Bimestral
2.9.2	14.02	14.02.1	Não está calibrado.	14.02.1	S - S - N - S -	Realizar calibração do instrumento	Bimestral
Sistema: Spray Dry Absorber (SDA) Subsistema: Sistema de Lubrificação							
Etapa 7 - Seleção de Tarefas							

Fonte: Próprio Autor.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho de monografia apresentou o processo de criação de um plano de manutenção baseado na metodologia da MCC com o principal intuito de poder contribuir para a redução e minimização das falhas e, conseqüentemente, para a redução dos altos custos decorrentes do grande número de manutenções corretivas, principalmente relacionados à troca constante de rolamento que, entre os anos de 2017 e 2018, somaram 295 mil reais. Nesse processo, foi necessária a participação do setor de engenharia e de manutenção aliada às contribuições de natureza teórica e prática. Primeiramente, foram abordados os conceitos básicos de manutenção bem como o confronto de visão da MCC apresentados pelos principais autores e autoridades sobre o assunto. Foram abordadas, também, diferentes ferramentas de análise para definição de tomadas de decisão, como a exemplificada na Figura 4 apresentada por Moubray (1997) para definição de tarefas. As principais referências discutidas no trabalho foram as obras de Moubray (1997), Smith e Hinchcliffe (2004), Mobley (2004). Ao final, a versão abreviada da MCC, Smith e Hinchcliffe (2004), foi eleita como a metodologia mais adequada a ser aplicada no sistema porque, além de apresentar os requisitos que justificaram o seu uso, a empresa em questão requeria maior agilidade no processo, sem, no entanto, dispor de suficiente carga horária de pessoal para desenvolver o estudo.

Em conclusão, foram elaboradas 86 (oitenta e seis) tarefas direcionadas a manutenções preventivas e corretivas programadas, à especificação de materiais, elaboração de treinamentos e procedimentos.

O trabalho pode ser avaliado de forma positiva nos respectivos aspectos: desenvolvimento de uma equipe especializada no sistema de atomização, através da participação efetiva de todos os membros do grupo de estudo; criação de documentação de todas as etapas do MCC disponibilizada à equipe técnica para consultas, sempre que necessárias; levantamento de Gráfico Pareto de custos de manutenção do sistema de atomização, visando contribuir para uma efetiva intervenção das equipes responsáveis; criação do plano de manutenção adequado às operacionalidades e aos conceitos de saúde e de segurança da empresa.

No decorrer do processo foram encontradas as seguintes dificuldades:

- Limitada divulgação das informações constantes da documentação e do manual do fabricante, em razão de estarem disponibilizadas somente na versão em inglês
- As análises de falhas que enfatizavam, apenas, os limites predefinidos podem ter limitado o processo de análise de falhas.

- Limitações quanto à obtenção de parâmetros para as análises de falha dada a escassez de informações relativas ao histórico das manutenções de equipamentos específicos, como, por exemplo, um motor ou o disco de atomização.
- Obstáculos enfrentados pela equipe quanto à metodologia por ser sua primeira aplicação na empresa.

6 TRABALHOS FUTUROS

- A implantação do plano de manutenção elaborado.
- Acompanhamento e apoio nas atividades desenvolvidas pelas equipes de manutenção.
- Criação de codificação para os principais equipamentos do sistema de atomização, como por exemplo, o eixo e estator do motor, discos de atomização e sensores de temperatura para facilitar estudo de diagnósticos e mapeamento de falhas.
- Criação de banco de dados para acompanhamentos dos equipamentos citados no item anterior.

De forma geral, o trabalho apresentado alcançou o seu objetivo principal que fundamenta-se na criação do plano de manutenção do sistema de dessulfurização de gases, bem como apresentou a finalidade da metodologia MCC e a visão dos principais autores e suas ferramentas. Além disso, obteve-se a criação de documentação que facilita e contribui para a disseminação do conhecimento dentro da companhia.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 614**, 2014. 18 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- BARAN, L. R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada na Redução de Falhas: Um Estudo de Caso.**: Trabalho de Monografia - Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- CAIADO, R. G. G.; LIMA, G. B. A.; QUELHAS, O. L. G. Aspectos da aplicação da manutenção centrada em confiabilidade. **Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, 2015.
- DHILLON, B. **Engineering Maintenance**: A modern approach. : CRC Press, 2002.
- DUARTE, A. M. P.; MIRANDA, G. V. A.; FORTE, M. Z. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): Pesquisa-ação de implantação em uma fábrica de pneumáticos. **Science Engineering Journal**, Ciência e Engenharia, 2013.
- ENFIL S/A. **MANUAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO**. BRASIL, 2009.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. : Elsevier Editora Ltda, 2011.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: Função estratégica. : Qualitymark Editora, 2009.
- LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. do. **Geração Termelétrica**: Planejamento, projeto e operação. : Interciencia, 2009.
- MOBLEY, R. K. **Maintenance Fundamentals**: Plan Engineering: ELSERVIER INC, 2004.
- MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**: RCM, publisher: Industrial Press, 1997.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **RCM Guide Reliability-Centered Maintenance Guide**: For facilities and collateral equipment. USA, 2008.
- OLIVEIRA, L. G. de. Aplicação da rcm para usinas de geração termelétrica e os desafios focados na gestão da operação e manutenção - caso prático para a UTE Jorge Lacerda IV. In: **Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, 2005.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Procedimento de Rede**: O ONS e os Procedimentos de Rede: Visão geral, 2009. 23 p.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Manual de Procedimento da Operação - Módulo 10**: Apuração das mudanças de estados operativos de unidades geradoras, usinas e interligações internacionais. [S.l.], 2014. 30 p.
- SEIXAS, E. de S. **Manutenção Centrada na Confiabilidade - Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamento**, 2008.

SILVA, A. V. da; RIBEIRO, J. L. D. Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade para desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis. **A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão**, XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009.

SIQUEIRA, I. P. de. **Manutenção centrada na confiabilidade**: Manual de Implatação.: Qualitymark, 2009.

SMITH, A.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: Gateway to World Class Maintenance**: ELSERVIER INC, 2004.

SOCIETY OF DE AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE JA1012**: A guide to the Reliability-Centred Maintenance (RCM) standard. 400 Commonwealth Drive Warrendale PA 15096, 2002.

SOCIETY OF DE AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE JA1011**: (r) Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes. Brasil, 2009.

SOUZA, J. B.; MARCAL, R. F. M. Reliability Centered Maintenance (RCM) e Failure Mode and Effects - Analysis (FMEA): Uma Reflexão Teórica-analítica. **Simpósio de Engenharia de Produção**, XVI SIMPEP, 2010.

APÊNDICE A – PLANILHAS FUNÇÃO E FALHAS FUNCIONAIS

MCC - Análise do Sistema

Etapa 4:	Funções e Falhas Funcionais.	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Descrição das Funções e Falhas Funcionais.	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta:	Dessulfurização de Gases.	Revisão:	0
Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA).	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Sist. Ar de Instrumento/Purga.		

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
1.1		Retirar quaisquer contaminantes (sólidos e líquidos) que possam ter se infiltrado no sistema de ar de instrumento.
	1.1.1	Não fazer a filtragem adequada.
	1.1.2	Obstruir a passagem de fluido.
1.2		Permitir passagem de ar de instrumento para o sistema de ar de instrumento e ar de purga.
	1.2.1	Não permitir passagem de ar de instrumento.
1.3		Regular a pressão de ar de instrumento.
	1.3.1	Não regular a pressão entre 5 - 60Psig.
1.4		Regular/indicar o fluxo de água nas especificações de operação.
	1.4.1	Não indicar o fluxo de ar.
	1.4.2	Regular incorretamente o fluxo de ar.

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA).
Subsistema: Sist. Ar de Instrumento/Purga.
Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais.

MCC - Análise do Sistema

Etapa 4:	Funções e Falhas Funcionais.	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Descrição das Funções e Falhas Funcionais.	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta	Dessulfurização de Gases.	Revisão:	0
Sistema	Spray Dry Absorver (SDA).	Data:	16/01/2019
Subsistema	Sistema de Água Potável / Lavagem.		

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
3.1		Retirar qualquer contaminante (sólidos e líquidos) que possa ter se infiltrado no sistema de ar de instrumento.
	3.1.1	Não fazer a filtragem adequada.
	3.1.2	Obstruir a passagem de fluido.
3.2		Permitir passagem de água potável.
	3.2.1	Não permitir passagem de água de água de lavagem.
3.3		Regular/indicar a pressão à 20psi.
	3.3.1	Não regular a pressão da água de lavagem.
	3.3.2	Regular a pressão da água de lavagem em 20 Psig.
3.4		Regular/indicar o fluxo de água de lavagem do eixo em 4 a 15 L/h.
	3.4.1	Não regular o fluxo de água de lavagem do eixo em 4 a 15L/h.
	3.4.2	Não Indicar o fluxo de água de lavagem.
3.5		Regular/indicar o fluxo de água de lavagem da roda em 10 a 20 L/h.
	3.5.1	Não regular o fluxo de água de lavagem da roda em 10 a 20 L/h.
3.6		Indicar o fluxo para o sistema de monitoramento (CLP).
	3.6.1	Não enviar o sinal de leitura para o CLP.
	3.6.2	Enviar sinal de leitura incorretamente para o CLP.

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Água Potável / Lavagem
 Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais

MCC - Análise do Sistema

Etapa 4:	Funções e Falhas Funcionais	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Descrição das Funções e Falhas Funcionais	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta:	Dessulfurização de Gases	Revisão:	0
Sistema:	Spray Dry Absorber (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Sist. Água de resfriamento		

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
4.1		Indicar o fluxo de água de resfriamento para o sistema de monitoramento (CLP)
	4.1.1	Não enviar o sinal de leitura para o CLP.
	4.1.2	Enviar sinal de leitura incorretamente para o CLP.
4.2		Indicador de temperatura da água de resfriamento.
	4.2.1	Não indicar a temperatura.
	4.2.2	Indicar temperatura incorretamente.

Sistema:	Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema:	Sist. Água de resfriamento
	Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais

MCC - Análise do Sistema

Etapa 4:	Funções e Falhas Funcionais. Descrição das Funções e Falhas	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Funcionais.	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta	Dessulfurização de Gases	Revisão:	0
Sistema	Spray Dry Absorver (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema	Sist. Mecânico		

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
5.1		Minimizar a fricção entre as peças móveis.
	5.1.1	Não realizar a diminuição entre as peças móveis
5.2		Suportar as cargas e peso dos elementos.
	5.2.1	Não suportar as cargas e peso dos elementos.
5.3		Rotacionar o disco a 10000 rpm.
	5.3.1	Não girar o disco na velocidade necessária.
5.4		Desviar óleo para os depósitos de óleo.
	5.4.1	Não direcionar o óleo para os depósitos de óleo
5.5		Realizar vedação do sistema de óleo e ar de selagem
	5.5.1	Não realizar a vedação do sistema de óleo.
	5.5.2	Não realizar a vedação do sistema de ar de selagem.
5.6		Criar a névoa de atomização através do movimento de rotação.
	5.6.1	Não criar névoa de lama de cal de forma operacionamento correta.
5.7		Indicar a rotação do eixo (motor).
	5.7.1	Indicar incorretamente a rotação do motor
5.8		Realizar a pre-carga nos mancais superiores.
	5.8.1	Não dar precarga suficiente no mancal.
	5.8.2	Precarga excessiva
5.9		Servir de metal de sacrifício para evitar a oxidação de partes do atomizador.
	5.9.1	Não funcionar como sacrifício.

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)

Subsistema: Sist. Mecânico

Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais

MCC - Análise do Sistema

Etapa 4:	Funções e Falhas Funcionais.	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Descrição das Funções e Falhas Funcionais.	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta	Dessulfurização de Gases.	Revisão:	0
Sistema	Spray Dry Absorver (SDA).	Data:	16/01/2019
Subsistema	Sist. Elétrico.		

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
6.1		Rotacionar o eixo a 10000 rpm.
	6.1.1	Não girar o eixo (0 rpm).
	6.1.2	Não girar o eixo a 10000 rpm.
6.2		Fornece controle de rotação ao motor.
	6.2.1	Não realizar o controle do motor.
6.3		Fornecer proteção elétrica ao motor.
	6.3.1	Não realizar a proteção elétrica do motor.
6.4		Processar sinais elétricos recebido (comandos e monitoramento) e executar ações programadas.
	6.4.1	Não realizar processamento dos sinais recebidos.

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA).

Subsistema: Sist. Elétrico.

Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais.

MCC - Análise do Sistema

Etapa 4:	Funções e Falhas Funcionais.	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Descrição das Funções e Falhas Funcionais.	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 0602-UG03-CE-FGD-HTF02
Planta	Dessulfurização de Gases.	Revisão:	0
Sistema	Spray Dry Absorver (SDA).	Data:	16/01/2019
Subsistema	Sist. De Instrumentação.		

Função#	Falha Funcional#	Descrição Função/Falha funcional
7.1		Medir temperatura dos mancais.
	7.1.1	Não medir temperatura dos mancais.
	7.1.2	Não medir temperatura correta dos mancais.
7.2		Medir a vibração global do atomizador.
	7.2.1	Não realizar a medição da vibração.
	7.2.2	Não realizar a medição correta da vibração.
7.3		Medir rotação do motor.
	7.3.1	Não realizar a medição da rotação do motor.
	7.3.2	Não realizar a medição correta da rotação do motor.
7.4		Realizar a indicação do status "Em posição" do atomizador.
	7.4.1	Não realizar a indicação do status "Em posição"
	7.4.2	Não realizar a indicação corretamente do status "Em posição".

Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema:	Sist. De Instrumentação
	Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais

APÊNDICE B – MATRIX DE FALHAS FUNCIONAIS

APÊNDICE C – PLANILHAS MODOS DE FALHA E ANÁLISE DOS EFEITOS

MCC - Análise do Sistema

Etapa 5-2: Modo de falha e Análise dos Efeitos
Informação: Falha Funcional
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber
Subsistema: Sistema de Ar de Instrumento/Purga

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Efeito da Falha			LTA	
						Local	Sistema	Planta		
1.1.1	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.01	Deterioração.	01.01.1	Uso dos elementos além da vida de projeto	Perda da capacidade de filtragem.	Contaminação do sistema de ar/lubrificação.	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)			01.01.2	Operação fora dos limites aceitáveis	Perda da capacidade de filtragem.	Contaminação do sistema de ar/lubrificação.	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.02	Aumento da saturação dos filtros.	01.02.1	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Perda da capacidade de filtragem.	Contaminação do sistema de ar/lubrificação Deteorização dos manuais.	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.03	Montagem incorreta do filtro.	01.03.1	Erros de Manutenção/Falta de Treinamento em Manutenção	Perda da capacidade de filtragem	Contaminação do sistema de ar/lubrificação	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.04	Fluido fora das especificações dos filtros.	01.04.1	Contaminação excessiva do ar	Dano ao sistema de filtragem	Contaminação do sistema de ar/lubrificação	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
1.1.2	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.05	Saturação completa dos filtros.	01.05.1	Uso dos elementos além da vida de projeto	Dano ao sistema de filtragem	Contaminação do sistema de ar/lubrificação	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
1.2.1	04	Poppet Valve (3/2 vias com acionamento por solenoide e retorno por mola)	04.01	Desligamento (operação) indevido da solenoide.	04.01.1	Erro operacional	-	Interrupção da passagem de ar	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
	04	Poppet Valve (3/2 vias com acionamento por solenoide e retorno por mola)	04.02	Queima da solenoide.	04.02.1	Sobretensão na alimentação	-	Interrupção da passagem de ar	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
	04	Poppet Valve (3/2 vias com acionamento por solenoide e retorno por mola)	04.03	Carretel preso ao corpo da válvula.	04.03.1	Travamento do carretel no corpo da válvula	-	Interrupção da passagem de ar	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s

1.3.1	05	Regulador de Pressão	05.01	Desgastes e quebra das partes internas.	05.01.1	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Incapacidade de regular a pressão correta de operação.	Possível entrada de contaminantes na parte interna do motor.	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s
1.4.1	06	Rotâmetro de ar, 0-4 SCFM	06.01	Desgastes e quebra das partes internas.	06.01.1	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Incapacidade leitura em campo do fluxo de ar.	-	-	s
1.4.2	06	Rotâmetro de ar, 0-4 SCFM	06.02	Desgastes e quebra das partes internas.	06.01.2	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Incapacidade de regular o fluxo de ar e promover fluxo correto de operação	Possível entrada de contaminantes na parte interna do motor.	Possibilidade de desligamento do sistema de atomização.	s

Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Ar de Instrumento/Purga

Etapa 4 - Função e Falhas Funcionais

MCC - Análise do Sistema

Etapa 5-2: Modo de falha e Análise dos Efeitos
Informação: Falha Funcional
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber
Subsistema: Sistema de Água de Lavagem

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Modo de Falha#	Causa da Falha#	Causa da falha	Efeito da Falha		LTA	
						Local	Sistema		
3.1.1	15	Conjunto de filtro e deionizador.	15.01	15.01.1	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Contaminação do sistema de lavagem.	Deterioração dos componentes do sistema de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por alta vibração.	S
				15.01.2	Operação fora dos limites aceitáveis.	Contaminação do sistema de lavagem.	Deterioração dos componentes do sistema de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por alta vibração.	S
	15	Conjunto de filtro e deionizador.	15.02	15.02.1	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Contaminação do sistema de lavagem.	Deterioração dos componentes do sistema de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por alta vibração.	S
					Queda de pressão no sistema.	Redução de eficiência no sistema de lavagem.	Redução de eficiência no sistema de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por alta vibração.	S
	15	Conjunto de filtro e deionizador.	15.03	15.03.1	Erosão de Manutenção/Falta de Treinamento em Manutenção.	Contaminação do sistema de lavagem.	Deterioração dos componentes do sistema de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por alta vibração.	S
3.2.1	16	Válvula solenoide.	16.01	16.01.1	Sobretensão na alimentação.	Perda do possibilidade de fechamento ou abertura da válvula.	Perda no fornecimento de água para o sistema de lavagem.	Desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
				16.01.2	Travamento do carretel no corpo da válvula.	Perda do possibilidade de fechamento ou abertura da válvula.	Perda no fornecimento de água para o sistema de lavagem.	Desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
3.3.1	17	Regulador / Indicador de Pressão.	17.01	17.01.1	Desgaste dos componentes.	Impossibilidade de realizar regulação do vazão de água.	Indução de erro na operação do sistema de água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S

3.3.2	17	Regulador / Indicador de Pressão.	17.02	Descalibrado	17.02.1	Falta de calibração	Indução de erro na operação do sistema de água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
3.4.1	18	Rotâmetro de água de lavagem.	18.01	Quebra do rotâmetro	18.01.1	Desgaste dos componentes.	Indução de erro na operação do sistema de água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
					18.01.2	Acúmulo de depósitos.	Indução de erro na operação do sistema de água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
3.4.2	18	Rotâmetro de água de lavagem.	18.02	Quebra do rotâmetro	18.02.1	Desgaste dos componentes.	Indução de erro na operação do sistema de água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
3.5.1	18	Rotâmetro de água de lavagem.	18.01	Quebra do rotâmetro	18.01.1	Desgaste dos componentes.	Indução de erro na operação do sistema de água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
					18.01.2	Acúmulo de depósitos.	Indução de erro na operação do sistema de água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S
3.6.1	19	Chave de Fluxo	19.01	Queima do equipamento.	19.01.1	Sobretensão na alimentação.	Perda da indicação de fluxo de água de lavagem.	Desligamento do sistema por falta de indicação de fluxo de água de lavagem.	S
			19.02	Descalibrado	19.02.1	Falta de calibração	Leituras incorretas do fluxo da água de lavagem.	Possibilidade de desligamento do sistema por falta de fornecimento do água de lavagem.	S

Sistema: Spray/Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Lavagem

Etapa 5-2- Modo de Falha e Análise dos Efeitos

MCC - Análise do Sistema

Etapa 5-2: Modo de falha e Análise dos Efeitos
Informação: Falha Funcional
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorver
Subsistema: Sistema de Água de Resfriamento

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Causa da falha	Local	Efeito da Falha		LTA
								Sistema	Planta	
4.1.1	19	Chave de Fluxo	19.01	Queima do transdutor	19.01.1	Sobretensão na alimentação	Ausência de sinal para o PLC	Desligamento do atomizador	-	S
4.1.2	19	Chave de Fluxo	19.02	Descalibrado	19.02.1	Falta de calibração	Indução de erro na operação do sistema de lubrificação	Funcionamento Inapropriado do atomizador	Desligamento do sistema de atomização.	S
4.2.1	20	Indicador de Temperatura	01.03	Queima do instrumento.	20.03.1	Sobretensão	Ausência de sinal para o PLC	Desligamento do atomizador	Desligamento do sistema de atomização.	S
4.2.2	20	Indicador de Temperatura	01.04	Descalibrado	20.04.1	Falta de calibração	Indução de erro na operação do sistema de lubrificação	Funcionamento Inapropriado do atomizador	Queima do atomizador. Desligamento do sistema de atomização.	S

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Resfriamento

Etapa 5-2- Modo de falha e Análise dos Efeitos

MCC - Análise do Sistema

Etapa 5-2:	Modo de falha e Análise dos Efeitos
Informação:	Falha Funcional
Planta:	Dessulfurização de Gases
Sistema:	Spray Dry Absorber
Subsistema:	Sistema Mecânico
ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão:	0
Data:	16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Causa da falha	Efeito da Falha			LTA
							Local	Sistema	Planta	
5.1.1	21	Rolamentos	21.01	Travamento.	21.01.1	Lubrificação incorreta.	Aumento de vibração e temperatura nos mancais.	-	Possível desligamento da sistema de atomização.	S
					21.01.2	Presença de contaminantes no óleo.	Aumento de vibração e temperatura nos mancais.	-	Possível desligamento da sistema de atomização.	S
					21.01.3	Erro de montagem.	Aumento de vibração e temperatura nos mancais.	-	Possível desligamento da sistema de atomização.	S
					21.01.4	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Aumento de vibração e temperatura nos mancais.	-	Possível desligamento da sistema de atomização.	S
5.2.1	21	Rolamentos	21.02	Desgaste/Quebra.	21.02.1	Lubrificação incorreta.	Danos ao eixo, aumento de vibração e temperatura nos mancais.	-	Possível desligamento da sistema de atomização.	S
					22.02.2	Erro de montagem.	Danos ao eixo, aumento de vibração e temperatura nos mancais.	-	Possível desligamento da sistema de atomização.	S
5.3.1	22	Eixo	22.01	Fratura.	22.01.1	Fadiga mecânica.	Aumento de vibração.	-	Desligamento da sistema de atomização.	S
5.4.1	23	Defletor	23.01	Desgaste.	23.01.1	Uso dos elementos além da vida de projeto.	Passagem de óleo lubrificante para partes internas do motor	Possível queima do motor.	Desligamento da sistema de atomização.	S

5.5.1	24	O-ring	24.01	Ressecamento.	24.01.1	Falta de lubrificação ou uso além da vida.	Passagem de óleo lubrificante para partes internas do motor	Possível queima do motor.	Desligamento da sistema de atomização.	S
			24.02	Desgaste.	24.02.1	Falta de lubrificação ou uso além da vida.	Passagem de óleo lubrificante para partes internas do motor	Possível queima do motor.	Desligamento da sistema de atomização.	S
			24.03	Seção reduzida.	24.03.1	Especificação incorreta.	Passagem de óleo lubrificante para partes internas do motor	Possível queima do motor.	Desligamento da sistema de atomização.	S
5.5.2	24	O-ring	24.01	Ressecamento.	24.01.2	Falta de lubrificação ou uso além da vida.	Redução da pressão do ar de selagem	Contaminação das partes internas do motor por óleo, água e poeira.	Possível desligamento da sistema de atomização por queima do motor	S
			24.02	Desgaste.	24.02.2	Falta de lubrificação ou uso além da vida.	Redução da pressão do ar de selagem	Contaminação das partes internas do motor por óleo, água e poeira.	Possível desligamento da sistema de atomização por queima do motor	S
			24.03	Seção reduzida.	24.03.2	Especificação incorreta.	Redução da pressão do ar de selagem	Contaminação das partes internas do motor por óleo, água e poeira.	Possível desligamento da sistema de atomização por queima do motor	S
5.6.1	25	Disco de Atomização	25.01	Desgaste excessivo dos elementos de desgaste.	25.01.1	Uso dos elementos além da vida.	Desgastes nas partes metálicas do disco.	Aumento do desbalanceamento e vibração.	Possível desligamento da sistema de atomização por alta vibração.	S
					25.01.2	Balanceamento incorreto dos para fusos	Aumento de vibração no sistema.	-	Possível desligamento da sistema de atomização por alta vibração.	S
			25.02	Desbalanceamento.	25.02.1	Erro na usinagem.	Aumento de vibração no sistema.	-	Possível desligamento da sistema de atomização por alta vibração.	S
			25.03	Desgaste dos bocais.	25.03.1	Uso dos elementos além da vida.	Aumento de vibração no sistema.	-	Possível desligamento da sistema de atomização por alta vibração.	S
5.7.1	26	Sensor de flag	26.01	Deformação/quebra das "bandeiras".	26.01.1	Dano mecânico.	Perda da sinalização de velocidade de rotação do motor	-	-	S

5.8.1	27	Molas	27.01	Deformação da mola.	27.01.1	Uso além da vida.	Redução da vida do mancal.	Aumento de vibração e temperatura.	Desligamento do sistema de atomização.	S
5.8.2	27	Molas	27.01	Propriedades mecânicas incorretas.	27.02.1	Especificação do material incorreta	Redução da vida do mancal.	Aumento de vibração e temperatura.	Desligamento do sistema de atomização.	S
5.9.1	28	Anodo	28.01	Uso além da vida.	28.01.1	Falta de verificação do funcionamento do Anodo.	Oxidação de partes internas e externas do atomizador.	Possível perda de vedação do corpo do atomizador.	-	S

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Lavagem

Etapa 5-2- Modo de falha e Análise dos Efeitos

MCC - Análise do Sistema

Etapa 5-2: Modo de falha e Análise dos Efeitos
Informação: Falha Funcional
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber
Subsistema: Sistema Elétrico

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Efeito da Falha			LTA	
						Local	Sistema	Planta		
6.1.1	29	Motor de Indução	29.01	Queima	29.01.1	Contaminação por impurezas.	Deteoração da isolação do motor.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
					29.01.2	Operação continua do motor.	Deteoração da isolação do motor.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
6.1.2			29.02	Atuação de proteção.	29.02.1	Sobrecarga	Desligamento do sistema do atomizador	-	-	S
					29.02.2	Fuga à terra	Desligamento do sistema do atomizador	-	-	S
6.2.1	30	Variador de frequência	30.01	Queima de componentes internos.	30.01.1	Deficiência na ventilação e dissipação de calor.	Corte do fornecimento de energia.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
					30.01.2	Presença de poeira nas partes internas	Corte do fornecimento de energia.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
					30.01.3	Folga nas conexões	Corte do fornecimento de energia.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
6.3.1			30.02	Desgastes dos componentes internos	30.02.1	Uso além da vida dos elementos.	Diminuição do eficiência do sistema.	-	Operação incorreta do sistema de atomização.	S
6.4.1	31	Controlador lógico programável	31.01	Queima	31.01.1	Sobretensão na alimentação	Perda dos sinais para o DCS.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
			31.02	Não transmissão dos sinais	31.02.1	Folga nas conexões.	Perda dos sinais para o DCS.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S

Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema Elétrico

MCC - Análise do Sistema

Etapa 5-2: Modo de falha e Análise dos Efeitos
Informação: Falha Funcional
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber
Subsistema: Sistema de Instrumentação

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Causa da Falha#	Causa da falha	Local	Efeito da Falha		LTA
								Sistema	Planta	
7.1.1	32	Sensor de temperatura	32.01	Atrito por contato com o mancal.	32.01.1	Instalação incorreta do instrumento.	Perda da leitura de temperatura.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
					32.01.2	Alta vibração do mancal	Perda da leitura de temperatura.	-	Desligamento do sistema de atomização.	S
7.1.2	32	Sensor de temperatura	32.02	Descalibração do instrumento	29.02.1	Falta de calibração	Introdução de erro na operação do sistema.	deterioração do mancal.	Possível desligamento do sistema por alta vibração.	S
7.2.1	33	Sensor de vibração	33.01	Queima do sensor	33.01.1	Desgaste.	Perda da leitura de vibração.	-	Desligamento do sistema de atomização por falta de sinais de vibração.	S
					33.01.2	Contaminação.	Perda da leitura de vibração.	-	Desligamento do sistema de atomização por falta de sinais de vibração.	S
			33.02	Fixação incorreta	33.02.1	Folga no parafuso de fixação.	Leitura incorreta da vibração	-	Possibilidade de desligamento incorreto do sistema.	S
7.3.1	34	Sensor de giro	34.01	Queima do sensor	34.01.1	Desgaste.	Perda da leitura de giro.	Dificuldade para operar o sistema.	-	S
7.3.2	34	Sensor de giro	34.02	Fixação incorreta	34.02.1	Folga no parafuso de fixação.	Leitura incorreta da rotação.	Introdução de erros na operação do sistema.	Possibilidade de operação do sistema fora dos padrões operacionais corretos.	S
7.4.1	35	Sensor de posição	35.01	Queima do sensor	35.01.1	Desgaste.	Perda da leitura de posição.	Introdução de erros na operação do sistema.	-	S
			34.02	Leitura de pressão incorreta.	35.01.2	Nível de óleo incorreto no reservatório	Leitura incorreta da posição.	Introdução de erros na operação do sistema.	-	S

Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Instrumentação

APÊNDICE D – PLANILHAS ANÁLISE DA ÁRVORE LÓGICA

MCC - Análise do Sistema

Etapa 6: Análise da Árvore Lógica
Informação: Criticidade dos Modos de Falha
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Ar de Instrumento/Purga

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01/02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria
1.1.1	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.01	Deterioração.	S	N	S	B
1.1.1	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.02	Aumento da saturação dos filtros.	S	N	S	B
1.1.1	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.03	Montagem incorreta do filtro.	S	N	S	B
1.1.1	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.04	Fluido fora das especificações dos filtros.	S	N	S	B
1.1.2	01,02,03	Conjunto de filtros de ar de instrumento (coarse, fine e coalescing filter)	01.05	Saturação completa dos filtros.	S	N	S	B
1.2.1	04	Poppet Valve (3/2 vias com acionamento por solenoide e retorno por mola)	04.01	Desligamento (operação) indevido da solenoide.	S	N	S	B
1.2.1	04	Poppet Valve (3/2 vias com acionamento por solenoide e retorno por mola)	04.02	Queima da solenoide.	S	N	S	B
1.2.1	04	Poppet Valve (3/2 vias com acionamento por solenoide e retorno por mola)	04.03	Carretel preso ao corpo da válvula.	S	N	S	B
1.3.1	05	Regulador de Pressão	05.01	Desgastes e quebra das partes internas.	S	N	S	B
1.4.1	06	Rotâmetro de ar, 0-4 SCFM	06.01	Desgastes e quebra das partes internas.	S	N	S	B
1.4.2	06	Rotâmetro de ar, 0-4 SCFM	06.02	Desgastes e quebra das partes internas.	S	N	S	B

Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Ar de Instrumento/Purga

MCC - Análise do Sistema

Etapa 6: Análise da Árvore Lógica
Informação: Criticidade dos Modos de Falha
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Lavagem

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria
3.1.1	15	Conjunto de filtro e deionizador.	15.01	Deterioração.	S	N	S	B
3.1.1	15	Conjunto de filtro e deionizador.	15.02	Aumento da saturação dos filtros.	S	N	S	B
3.1.1	15	Conjunto de filtro e deionizador.	15.03	Montagem incorreta do filtro..	S	N	S	B
3.2.1	16	Válvula solenoide.	16.01	Queima da solenoide.	S	N	S	B
3.3.1	17	Regulador / Indicador de Pressão.	17.01	Quebra do regulador.	S	N	S	B
3.3.2	17	Regulador / Indicador de Pressão.	17.02	Descalibrado.	S	N	S	B
3.4.1	18	Rotâmetro de água de lavagem.	18.01	Quebra do rotâmetro.	S	N	S	B
3.4.2	18	Rotâmetro de água de lavagem.	18.02	Quebra do rotâmetro.	S	N	S	B
3.5.1	18	Rotâmetro de água de lavagem.	18.01	Quebra do rotâmetro.	S	N	S	B
3.6.1	19	Chave de Fluxo	19.01	Queima do equipamento.	S	N	S	B
3.6.2	19	Chave de Fluxo	19.02	Descalibrado	S	N	S	B

Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Lavagem

MCC - Análise do Sistema

Etapa 6: Análise da Árvore Lógica
Informação: Criticidade dos Modos de Falha
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Resfriamento

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria
4.1.1	19	Chave de Fluxo	19.01	Queima do transdutor	S	N	S	B
4.1.2	19	Chave de Fluxo	19.02	Descalibrado	N	N	S	D/B
4.2.1	20	Indicador de Temperatura	01.03	Queima do instrumento.	S	N	N	C
4.2.2	20	Indicador de Temperatura	01.04	Descalibrado	N	N	N	D/C

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Resfriamento

Etapa 6 - Análise da Árvore Lógica

MCC - Análise do Sistema

Etapa 6: Análise da Árvore Lógica
Informação: Criticidade dos Modos de Falha
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema Mecânico

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria
5.1.1	21	Rolamentos	21.01	Travamento.	S	N	S	B
5.2.1	21	Rolamentos	21.02	Desgaste/Quebra.	S	N	S	B
5.3.1	22	Eixo	22.01	Fratura.	S	N	S	B
5.4.1	23	Defletor	23.01	Desgaste.	S	N	S	B
5.5.1	24	O-ring	24.01	Ressecamento.	S	N	S	B
5.5.1	24	O-ring	24.02	Desgaste.	S	N	S	B
5.5.1	24	O-ring	24.03	Seção reduzida.	S	N	S	B
5.5.2	24	O-ring	24.01	Ressecamento.	S	N	S	B
5.5.2	24	O-ring	24.02	Desgaste.	S	N	S	B
5.5.2	24	O-ring	24.03	Seção reduzida.	S	N	S	B

5.6.1	25	Disco de Atomização	25.01	Desgaste excessivo dos elementos de desgaste.	S	N	S	B
5.6.1	25	Disco de Atomização	25.02	Desbalanceamento.	S	N	S	B
5.6.1	25	Disco de Atomização	25.03	Desgaste dos bocais.	S	N	S	B
5.7.1	26	Sensor de flag	26.01	Deformação/quebra das "bandeiras".	N	N	N	D/C
5.8.1	27	Molas	27.01	Deformação da mola.	S	N	S	B
5.8.2	27	Molas	27.01	Propriedades mecânicas incorretas.	S	N	S	B
5.9.1	28	Anodo	28.01	Uso além da vida.	S	N	N	C

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema Mecânico

MCC - Análise do Sistema

Etapa 6: Análise da Árvore Lógica
Informação: Criticidade dos Modos de Falha
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema Elétrico

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria
6.1.1	29	Motor de Indução	29.01	Queima	S	N	S	B
6.1.2	29	Motor de Indução	29.02	Atuação de proteção.	S	N	S	B
6.2.1	30	Variador de frequência	30.01	Queima de componentes internos.	S	N	S	B
6.3.1	30	Variador de frequência	30.02	Desgastes dos componentes internos	S	N	S	B
6.4.1	31	Controlador lógico programável	31.01	Queima	S	N	S	B
6.4.1	31	Controlador lógico programável	31.02	Não transmissão dos sinais	S	N	N	C

Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema Elétrico.

MCC - Análise do Sistema

Etapa 6: Análise da Árvore Lógica
Informação: Criticidade dos Modos de Falha
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Instrumentação.

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Descrição do Componente	Mode de Falha#	Mode de Falha	Evidente	Segurança	Operacional	Categoria
7.1.1	32	Sensor de temperatura	32.01	Atrito por contato com o mancal.	S	N	S	B
7.1.2	32	Sensor de temperatura	32.02	Descalibração do instrumento	N	N	S	D/B
7.2.1	33	Sensor de vibração	33.01	Queima do sensor	S	N	S	B
7.2.1	33	Sensor de vibração	33.02	Fixação Incorreta	S	N	S	B
7.3.1	34	Sensor de giro	34.01	Queima do sensor	S	N	S	B
7.3.2	34	Sensor de giro	34.02	Fixação Incorreta	S	N	S	B
7.4.1	35	Sensor de posição	35.01	Queima do sensor	N	S	S	D/A
7.4.1	35	Sensor de posição	34.02	Leitura de pressão incorreta.	N	S	S	D/A

Sistema: Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema: Sistema de Instrumentação.

APÊNDICE E – PLANILHAS DE SELEÇÃO DE TAREFAS

MCC - Análise do Sistema

Etapa 7-1:	Seleção de Tarefas	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Processo de Seleção e Decisão	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01/02
Planta:	Dessulfurização de Gases	Revisão:	0
Sistema:	Spray Dry Absorber (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Sistema de Ar de Instrumento/Purga		

Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	1	2	3	4	5	6	7	Tarefa	Frequência
1.1.1	01,02,03	01.01	Deterioração.	01.01.1	S	S	N	N	-	S	-	Inspeção dos componentes internos do filtro	Trimestral
1.1.1	01,02,03			01.01.2	N	-	S	N	-	S	-	Verificação dos padrões de operação. (pressão e fluxo)	Sempre que entrar em operação.
1.1.1	01,02,03	01.02	Aumento da saturação dos filtros.	01.02.1	S	S	S	N	-	S	-	Inspeção visual do elemento filtrante e realizar troca se necessário trocar do elemento filtrante.	Trimestral
1.1.1	01,02,03	01.03	Montagem incorreta do filtro.	01.03.1	N	-	S	N	-	S	-	Verificação dos encaixes do filtros.	Sempre que entrar em operação. Trimestral.
1.1.1	01,02,03	01.04	Fluido fora das especificações dos filtros.	01.04.1	S	S	S	N	-	S	-	Inspeção visual do elemento filtrante dos filtros do restante da linha de suprimento, se necessário realizar a troca.	Trimestral
1.1.2	01,02,03	01.05	Saturação completa dos filtros.	01.05.1	S	S	S	N	-	S	-	Realizar troca de elementos filtrantes.	Semestral
1.2.1	04	04.01	Desligamento (operação) indevido da solenoide.	04.01.1	N	-	N	N	-	N	N	Realizar treinamentos para os operadores.	Anual

MCC - Análise do Sistema

Etapa 7-1: Seleção de Tarefas
Informação: Processo de Seleção e Decisão
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Água de Lavagem

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Causa da Falha#	Tarefa							Frequência			
				1	2	3	4	5	6	7				
3.1.1	15	15.01	Deterioração	15.01.1	S	S	S	N	-	S	-	-	Inspeção da integridade dos componentes.	Trimestral
				15.01.2	N	-	S	N	-	S	-	-	Verificação dos padrões de operação. (pressão e fluxo)	Sempre que entrar em operação.
	15	15.02	Aumento da saturação dos filtros	15.02.1	S	S	S	N	-	S	-	-	Inspeção visual do elemento filtrante e realizar troca se necessário trocar do elemento filtrante.	Trimestral
	15	15.03	Montagem incorreta do filtro.	15.03.1	S	S	S	N	-	S	-	-	Criação de procedimentos e realizado de treinamento de montagem.	-
3.2.1	16	16.01	Queima da solenoide.	16.01.1	S	S	S	N	-	S	-	-	Realizar troca da solenoide quando queimar.	-
				16.01.2	N	-	N	N	-	N	-	-	Realizar inspeções no corpo da válvula, se necessário fazer limpeza.	Trimestral
3.3.1	17	17.01	Quebra do regulador.	17.01.1	N	-	N	N	-	N	-	-	Realizar inspeções no regulador e no indicador.	Bimestral
3.3.2	17	17.02	Descalibrado	17.02.1	S	S	N	N	-	S	-	-	Realizar calibração do instrumento.	Bimestral

3.4.1	18	18.01	Quebra do rotâmetro	18.01.1	S S N N - S -	Realizar troca quando quebrar.	-
				18.01.2	S S N N - S -	Realizar inspeções de funcionamento, se necessário realizar limpeza.	Bimestral
3.4.2	18	18.02	Quebra do rotâmetro	18.02.1	S S N N - S -	Realizar troca quando quebrar.	-
3.5.1	18	18.01	Quebra do rotâmetro	18.01.1	S S N N - S -	Realizar troca quando quebrar.	-
				18.01.2	S S N N - S -	Realizar inspeções de funcionamento, se necessário realizar limpeza.	Bimestral
3.6	19	19.01	Queima do equipamento.	19.01.1	S S N N - S -	Realizar troca quando quebrar.	-
				19.02.1	S S N N - S -	Realizar calibração do instrumento.	Bimestral
Sistema: Spray Dry Absorver (SDA) Subsistema: Sistema de Água de Lavagem							
Etapa 7 - Seleção de Tarefas							

MCC - Análise do Sistema

Etapa 7-1:	Seleção de Tarefas	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Processo de Seleção e Decisão	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01/02
Planta:	Dessulfurização de Gases	Revisão:	0
Sistema:	Spray Dry Absorber (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Sistema de Água de Resfriamento.		

Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	1	2	3	4	5	6	7	Tarefa	Frequência
4.1.1	19	19.01	Queima do transdutor	19.01.1	N	-	S	N	-	S	-	Realizar troca quando queimar	-
4.1.2	19	19.02	Descalibrado	19.02.1	S	S	S	N	-	S	-	Realizar calibração do instrumento.	Bimestral
4.2.1	20	01.03	Queima do instrumento.	20.03.1	N	-	S	N	-	S	-	Realizar troca quando queimar	-
4.2.2	20	01.04	Descalibrado	20.04.1	S	S	S	N	-	S	-	Realizar calibração do instrumento.	Bimestral

Sistema:	Spray Dry Absorber (SDA)
Subsistema:	Sistema de Água de Resfriamento.
Etapa 7 - Seleção de Tarefas	

MCC - Análise do Sistema

Etapas 7-1:	Seleção de Tarefas	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Processo de Seleção e Decisão	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD- HTF01 /02
Planta:	Dessulfurização de Gases	Revisão:	0
Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Sistema Mecânico		

Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	1	2	3	4	5	6	7	Tarefa	Frequência
5.1.1	21	21.01	Travamento.	21.01.1	N	S	S	N	-	S	-	Realizar as tarefas de manutenção do sistema de lubrificação.	-
				21.01.2	N	S	S	N	-	S	-	Realizar as tarefas de manutenção do sistema de lubrificação.	-
				21.01.3	N	S	S	N	-	S	-	Criação de procedimento de montagem do sistema.	-
				21.01.4	S	S	S	N	-	S	-	Realizar inspeção dos componentes internos do mancal, se necessário realizar substituição.	Semestral
5.2.1	21	21.02	Desgaste/Quebra.	21.02.1	N	S	S	N	-	S	-	Realizar as tarefas de manutenção do sistema de lubrificação.	-
				22.02.2	N	S	S	N	-	S	-	Criação de procedimento de montagem do sistema.	-
5.3.1	22	22.01	Fratura.	22.01.1	S	S	S	N	-	S	-	Realizar inspeção de integridade e ensaios mecânicos.	Anual

5.4.1	23	23.01	Desgaste.	23.01.1	S S S N - S -	Realizar inspeção de integridade.	Sempre que desmontar o atomizador
5.5.1	24	24.01	Ressecamento.	24.01.1	S S S N - S -	Uso de lubrificante ao realizar a montagem.	Sempre que montar o atomizador
		24.02	Desgaste.	24.02.1	S S S N - S -	Realizar inspeção na integridade e se necessário realizar a troca.	Sempre que montar o atomizador
		24.03	Seção reduzida.	24.03.1	N - N N - N S	Realizar especificação e compra correta dos o-rings	-
5.5.2	24	24.01	Ressecamento.	24.01.2	S S S N - S -	Uso de lubrificante ao realizar a montagem.	Sempre que montar o atomizador
		24.02	Desgaste.	24.02.2	S S S N - S -	Realizar inspeção na integridade e se necessário realizar a troca.	Sempre que montar o atomizador
		24.03	Seção reduzida.	24.03.2	N - N N - N S	Realizar especificação e compra correta dos o-rings	-
5.6.1	25	25.01	Desgaste excessivo dos elementos de desgaste.	25.01.1	S S S N - S -	Realizar troca ou usinagem do discos.	Bianual
				25.01.2	N - S N - S -	Realizar balanceamento do disco.	Trimestral

25.02	Desbalanceamento.	25.02.1	N - S N - S -	Realizar balanceamento do disco.	Trimestral
25.03	Desgaste dos bocais.	25.03.1	S S S N - S -	Realizar inspeções nos bocais do disco, se necessário realizar a troca.	Trimestral
26.01	Deformação/quebra das "bandeiras".	26.01.1	S S S N - S -	Realizar inspeção sobre a integridade das bandeiras	Sem que montar o atomizador.
27.01	Deformação da mola.	27.01.1	S S S N - S -	Realizar a substituição das molas	Anual
27.01	Propriedades mecânicas incorretas.	27.02.1	P N N - N N S	Realizar especificação e compra das molas junto ao fabricante.	-
28.01	Uso além da vida.	28.01.1	S S S N - S -	Realizar teste de integridade do anodo, se necessário realizar troca.	Sem que montar o atomizador.
Sistema: Spray Dry Absorver (SDA) Subsistema: Sistema Mecânico					
Etapa 7 - Seleção de Tarefas					

MCC - Análise do Sistema

Etapa 7-1:	Seleção de Tarefas	ID. Planta:	0602-UG03-CE-FGD
Informação:	Processo de Seleção e Decisão	ID. Sistema:	0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Planta:	Dessulfurização de Gases	Revisão:	0
Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)	Data:	16/01/2019
Subsistema:	Sistema de Elétrico		

Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Tarefa							Frequência				
					1	2	3	4	5	6	7					
6.1.1	29	29.01	Queima	29.01.1	N	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar tarefas de manutenção e inspeção do sistema mecânico. Elaboração de procedimento de montagem do sistema.	-
				29.01.2	S	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar teste de isolamento	Sempre que o atomizador for montado
6.1.2	29.02	29.02	Atuação de proteção.	29.02.1	P	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar teste de isolamento e verificação das conexões elétricas	Sempre que o atomizador for montado
6.2.1	30	30.01	Queima de componentes internos.	30.01.1	S	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Verificar funcionamento dos cooler. Realizar inspeção termográfica.	Bimestral
				30.01.2	S	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar limpeza das partes externas e ventiladores.	Bimestral
				30.01.3	S	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar reaperto das conexões	Bimestral
6.3.1	30.02	30.02	Desgastes dos componentes internos	30.02.1	S	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar a troca dos componentes de acordo com o fabricante	-
6.4.1	31	31.01	Queima	31.01.1	S	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar inspeção e limpeza.	Bimestral
				31.02.1	S	S	N	-	S	-	-	-	-	-	Realizar reaperto das conexões	Bimestral

Sistema:	Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema:	Sistema de Elétrico

MCC - Análise do Sistema

Etapa 7-1: Seleção de Tarefas
Informação: Processo de Seleção e Decisão
Planta: Dessulfurização de Gases
Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Instrumentação

ID. Planta: 0602-UG03-CE-FGD
ID. Sistema: 0602-UG03-CE-FGD-HTF01 /02
Revisão: 0
Data: 16/01/2019

Falha Funcional#	Componente#	Modo de Falha#	Modo de Falha	Causa da Falha#	Tarefa							Frequência		
					1	2	3	4	5	6	7			
7.1.1	32	32.01	Atrito por contato com o mancal.	32.01.1	P	S	N	-	S	-	S	-	S	Sempre que o atomizador for desmontado.
7.1.2	32	32.02	Descalibração do instrumento	29.02.1	P	S	N	-	S	-	S	-	S	Sempre que o atomizador for desmontado.
7.2.1	33	33.01	Queima do sensor	33.01.1	P	N	N	-	N	-	N	-	N	Realizar inspeções de integridade, se necessário realizar reparos
7.3.1	34	34.01	Queima do sensor	34.01.1	P	N	N	-	N	-	N	-	N	Realizar limpeza do sensor.
7.3.2	34	34.02	Fixação incorreta	34.02.1	P	S	N	-	S	-	S	-	S	Realizar reaperto da fixação do sensor como torque correto.
7.4.1	35	35.01	Queima do sensor	35.01.1	P	N	N	-	N	-	N	-	N	Realizar reaperto da fixação do sensor como torque correto.
		34.02	Leitura de pressão incorreta.	35.01.2	N	-	N	-	S	-	S	-	S	Realizar preenchimento correto dos reservatório de óleo de posição.

Sistema: Spray Dry Absorver (SDA)
Subsistema: Sistema de Instrumentação