

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS - UFGD

BÁRBARA HELEN RODRIGUES RAMIRES

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**

DOURADOS

2016

BÁRBARA HELEN RODRIGUES RAMIRES

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Faculdade de Engenharia – FAEN. Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.
Orientador: Prof. Dr. Fabio Alves Barbosa

DOURADOS

2016

BÁRBARA HELEN RODRIGUES RAMIRES

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção na Universidade Federal da Grande Dourados, pela comissão formada por:

Orientador: Prof. Dr. Fabio Alves Barbosa
FAEN – UFGD

Examinador: Prof. Dr. Walter Roberto Hernández Vergara
FAEN – UFGD

Examinador: Prof. Dr. Fabiana Raupp
FAEN-UFGD

Dourados, 29 de abril de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e me proteger sempre em caminhos que escolhi passar, por me conceder discernimento e sabedoria para o alcance de minhas conquistas e realizações pessoais, por me amar e me abençoar todos os dias de minha vida. Agradeço ao meu esposo Darlon e ao meu filho João Bernardo, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todas as minhas decisões, pela compreensão e ternura, em muitos momentos de minha ausência para a realização deste trabalho e conclusão de minha faculdade, sendo a minha maior motivação para seguir em frente.

À minha avó, minha mãe e minha tia, que sempre me ajudaram nesta caminhada sem medir esforços, sendo a minha base familiar e construção de meu caráter.

Ao meu avô *in memoriam* pela minha criação e exemplo de vida a seguir.

Aos meus professores dedicados, sem nominar, por partilhar o seu conhecimento de maneira direta ou indiretamente me auxiliando no processo de formação profissional que não se limitaram apenas em me ensinar e sim ter-me feito aprender, a eles terão os meus eternos agradecimentos.

Ao meu orientador Fabio, pela orientação, apoio e confiança na elaboração deste trabalho.

Meus agradecimentos aos meus amigos, de faculdade, companheiros e irmãos, que fizeram parte da minha formação, me apoiaram em todos os momentos compartilhando seus conhecimentos, amizade esta que continuará sempre presente na minha vida.

RESUMO

Com o advento da economia globalizada, a garantia da qualidade em produtos e serviço, exige excelência em projeto e excelência em processo, através de um aumento na demanda por produtos e sistemas de alto desempenho a custos competitivos, surgindo à necessidade da redução de falhas e aumento na confiabilidade do sistema fabril. A gestão de ativos é vista como uma das áreas mais propícias à inserção de melhorias na qualidade e confiabilidade, e nesse campo a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) tem apresentado um grande potencial. O presente trabalho abordou a proposição de uma metodologia centrada em confiabilidade por meio de ferramentas gerenciais de suporte a mesma, como o estudo da FMEA e a determinação da confiabilidade de um equipamento crítico do processo, visando à melhoria das funções de desempenho do sistema em relação à confiabilidade, disponibilidade, qualidade e manutenibilidade. O método utilizado para a pesquisa foi uma pesquisa-ação, exploratória, quali-quantitativo aplicada em uma empresa, atuante no setor sucroenergético, na produção de etanol. Em relação aos resultados obtidos, de um modo geral, o estudo e implementação da MCC contribuiu na identificação da real situação da manutenção e funcionalidade da unidade, possibilitando propor uma metodologia adaptada de manutenção com enfoque na preservação das funções do equipamento de forma efetiva na empresa.

Palavras-chave: Manutenção centrada em confiabilidade (MCC). Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA). Confiabilidade industrial. Gestão de ativos.

ABSTRACT

With the advent of a globalized economy, ensuring the quality of products and service requires excellence in design and process through an increase in demand for products and high performance systems at competitive cost, emerging the need to reduce failures and increased reliability of the factories. Asset management is seen as one of the most favorable areas to the insertion of improvements in quality and reliability, in this field the Reliability Centered Maintenance (RCM) has shown a great potential. This study addressed the proposition of a reliability centered methodology through the support of management tools, also the study of FMEA and ascertainment of the reliability of a critical equipment in the process in order to improve the performance of the system's functions regarding the reliability, availability, quality and maintainability. The method used for the research was the action research, qualitative and quantitative applied to the in a company active in the sugarcane industry producing ethanol. Concerning the results obtained, in general, the study and implementation of RCM contributed to identifying the actual situation of the power plant's maintenance and functionality, allowing the proposal of a adapted maintenance methodology focusing on the effective preservation of device's functions in the company.

Keywords: Reliability Centered Maintenance (RCM). Failure Mode Effects Analysis (FMEA). Industrial Reliability. Asset Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Árvore de decisão lógica através da análise dos modos de falha	31
Figura 2 – Procedimentos adotados para a MCC	36
Figura 3 – Fluxograma do sistema de produção do etanol	41
Figura 4 – Organograma do setor de manutenção da empresa	42
Figura 5 – Sistema e Subsistemas funcionais para a empresa	46
Figura 6 – Sistema, Subsistema e componentes (SSCs) escolhidos da centrífuga	57
Figura 7 – Exemplo de planilha FMEA utilizada no trabalho	61
Figura 8 – Sistemática de análise da ferramenta FMEA	62
Figura 9 – Gráfico de Áreas para interpretação proativa da FMEA	63
Figura 10 – Exemplo de planilha de seleção de tarefas utilizada no trabalho	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ferramentas utilizadas para promover a Qualidade	15
Quadro 2 – Definição das funções do subsistema centrifugação	52
Quadro 3 – Falhas funcionais do subsistema centrifugação	57
Quadro 4 – Número de falhas por equipamento do subsistema centrifugação	54
Quadro 5 – Parâmetros de confiabilidade para o equipamento centrífuga SM100	58
Quadro 6 – Resultados obtidos através dos testes de aderência	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de Pareto para frequência dos itens físicos críticos por sistema	49
Gráfico 2 – Frequência dos itens físicos críticos por subsistema	50
Gráfico 3 – Função confiabilidade da centrífuga SM100	59
Gráfico 4 – Taxa de falhas da centrífuga SM100	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMAQ – Associação Brasileira de Indústrias de Máquinas e Equipamentos

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

CCQ – Círculo de Controle da Qualidade

FMEA – Análise de Modos de Falha e Efeitos

FTA – Análise de Árvore de Falhas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPM – Grau alcoólico

MC – Manutenção Corretiva

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MP – Manutenção Preventiva

MPd – Manutenção Preditiva

MTBF – Tempo Médio entre Falhas

MTP- Manutenção Produtiva Total

MTTF – Tempo Médio até a Falha

MTTR – Tempo Médio para Reparo

OS – Ordem de Serviço

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PIB- Produto Interno Bruto

PNQC – Programa Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal na Área de Manutenção

R(t) – Função Confiabilidade

RCFA – Análise das Causas e Raízes de Falhas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivos Gerais	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 O PROBLEMA DA PESQUISA	14
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTUTURA DO TRABALHO	16
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
2.1 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	18
2.1.1 Surgimento da Mecanização Industrial	18
2.1.2 Definição de Manutenção	19
2.1.3 As Gerações da Manutenção.	20
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	22
2.2.1 Manutenção Corretiva ou Reativa	22
2.2.2 Manutenção Preventiva	22
2.2.3 Manutenção Preditiva	23
2.3 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE	24
2.3.1 Contextualização	24
2.3.2 Medidas de Confiabilidade	24
2.3.2.1 Funções	24
2.3.2.2 Tempo até a falha e taxa de falha	25
2.3.2.3 Função Confiabilidade, R(t)	26
2.3.2.4 Disponibilidade de Equipamentos	27
2.3.2.5 Mantenabilidade	27
2.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE APLICADAS À MCC	27
3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	30
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS À MCC	30
3.1.1 Normalização da MCC	31
3.2 APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO NA VISÃO DA MCC	31
3.1.2 Análise de Modos e Efeito de Falhas	33
4 METODOLOGIA	36
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	36
4.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS	37
5 PESQUISA-AÇÃO	41
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	41
5.2 BREVE DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	41
5.3 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO ATUAL NA EMPRESA	43
5.4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE	46
5.4.1 Preparação do estudo e coleta de dados	46
5.4.2 Identificação dos sistemas e subsistemas da empresa	46
5.4.3 Seleção dos equipamentos críticos do processo	48
5.4.4 Identificação das funções e falhas funcionais	52
5.4.5 Escolha do equipamento teste	54
5.4.5.1 Breve descrição da Centrífuga SM 100	56
5.4.5.2 Determinação dos sistemas e subsistemas do equipamento	57

5.4.5.3 Cálculo da confiabilidade esperada	58
5.4.6 Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA)	61
5.4.7 Seleção das tarefas proativas da Manutenção MCC	65
5.4.8 Plano de Manutenção Centrada em Confiabilidade	68
5.4.8.1 Considerações sobre o plano proposto	68
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICES	77
APÊNDICE A – Avaliação e classificação dos níveis de criticidade dos itens físicos da unidade fabril da empresa.	77
APÊNDICE B - Planilha de associação das relações dos itens físicos as consequências dos efeitos no processo produtivo	79
APÊNDICE C - Descrição operacional do subsistema Centrifugação	79
APÊNDICE D - Identificação das Falhas no Sistema Destilaria	79
APÊNDICE E - Análise dos Modos de falha e Efeitos (FMEA).....	79
APÊNDICE F - Planilha de Seleção de Tarefas.....	179
APÊNDICE G - Plano de Manutenção Centrada em Confiabilidade	115
ANEXOS	124
ANEXO A - Questionário aplicado para associação do efeito da falha do equipamento no processo produtivo baseado no software Universo Sigma (2015).....	124
ANEXO B - Terminologia.....	125
ANEXO C - Tempos até falha ajustados pelo Software Proconf2000	126
ANEXO D - Resultados obtidos das funções de confiabilidade para o equipamento Centrífuga SM100	128
ANEXO E - Índices de Severidade, Ocorrência e Detecção	129
ANEXO F - Diagrama de Decisão da MCC	131

1 INTRODUÇÃO

A economia globalizada dos tempos atuais tem impulsionado ferozmente a competitividade em nível mundial, surgindo novas e oportunas tecnologias, das quais exigem das organizações, para fins de sobrevivência, que as mesmas aprimorem suas habilidades em inovar e adaptar-se a velocidade das mudanças industriais, como o crescimento da automação e da mecanização, onde tais técnicas passaram a referenciar os principais indicadores de confiabilidade e disponibilidade em padrões de Excelência Empresarial (OLIVEIRA, 2012; PINTO e XAVIER, 2012).

Em contrapartida, uma maior automação do processo também significa surgimento de falhas cada vez mais frequentes ao qual acaba em afetar diretamente a capacidade da organização em manter padrões de qualidade estabelecidos, serviços e produtos. Tal efeito teve maior gravidade na década de 1970 onde o conceito *Just-in-time*, redução de estoques para produção, tornou-se tendência mundial, ao despertar uma mudança na mentalidade e postura da gerência ao evidenciar a necessidade de aumentar a confiabilidade na busca de altos níveis de produtividade, pois pequenas pausas na produção por falhas de equipamentos poderiam paralisar a fábrica (KARDEC e NASCIF, 2009).

Diante deste novo cenário mundial faz-se a necessidade de inserção de novas estratégias para o chão de fábrica a fim de responder a estas grandes mudanças sofridas pelas organizações de forma a garantir a eficiência e qualidade do processo produtivo por estas, deste modo, atividades antes vistas como não prioritárias estrategicamente passam a integrar os planos de gerenciamento como é o caso das atividades de manutenção.

Segundo Xavier (2011), a manutenção, como função estratégica das organizações precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização sendo responsável direta pela disponibilidade dos ativos, com grande importância capital nos resultados da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a Gestão da Manutenção em termos de confiabilidade, disponibilidade, custo e qualidade.

Em termos de gerenciamento das práticas de manutenção, para Baran (2011), a gestão da manutenção visa à maximização da produção, resultantes de processos cada vez mais enxutos, planejamento de sistemas otimizados, quanto ao seu contexto operacional, onde os mesmos devem garantir uma maior disponibilidade e confiabilidade deste sistema nas

organizações, tendendo assim, a busca do emprego de um gerenciamento de manutenção planejada de forma eficiente na necessidade de manter uma boa relação custo-benefício.

KARDEC E NASCIF (2009), reafirma tal conceito em seu livro:

A missão da manutenção é garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados. (KARDEC; NASCIF, 2009).

Segundo dados estatísticos fornecidos pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção, 2013) o Brasil têm para as atividades de manutenção um custo por faturamento bruto de 4,69% investido pelas empresas, isso significa que para um PIB nacional de R\$ 4,4 bilhões (IBGE), R\$ 206 milhões são gastos com manutenção. Portanto tal dado mostra a importância de “pensar e agir estrategicamente” em termos de melhoria contínua devido ao aumento da complexidade das instalações industriais inter-relacionados ao custo da manutenção em comparação a outros custos operacionais.

Segundo a ABIMAQ (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, ANUÁRIO 2009-2010) o investimento em máquinas e equipamentos produtivos no Brasil é da ordem de 3% do PIB nacional, tal investimento traz consigo o papel da inovação tecnológica na busca de maior produtividade em plantas industriais, onde novas formas de fabricação são experimentadas, continuamente consolidando o setor como um difusor do desenvolvimento tecnológico. O aumento de investimento em projetos de máquinas e alocação da mesma no processo produtivo, em conjunto com as demandas econômicas do comércio exterior impulsionaram em 2010 um crescimento 9% do custo de máquinas e equipamentos.

Tendo em vista que o custo de manutenção se elevou significativamente em relação ao custo de produção, as organizações começam a sustentar a necessidade de uma visão de futuro, inserindo a otimização da manutenibilidade na redução destes custos, como mostra os dados estatísticos da ABRAMAN (2013) onde o número de certificados emitidos pelo PNQC (Programa Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal na Área de Manutenção) para profissionais da manutenção teve um crescimento de 9,6% em comparação ao ano de 2011, partindo desta análise, a arte de gerenciar a manutenção com eficiência utilizando-se o emprego de técnicas, materiais e programas de manutenção como a Manutenção Produtiva Total (MPT) e Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) impactam de forma positiva na valorização da gestão de ativos das organizações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é propor uma metodologia para concepção de um sistema de manutenção planejada aplicada em uma usina de álcool baseada em ferramentas gerenciais que dão suporte ao mesmo, visando à aplicabilidade em termos de confiabilidade da manutenção.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Construir uma revisão teórica atualizada fundamentada nos temas “Manutenção Industrial” e “Manutenção Centrada em Confiabilidade”.
- Desenvolver os passos da suprarreferida metodologia deste trabalho com base na revisão teórica e em um estudo do setor de manutenção industrial da empresa.
- Aplicar a metodologia em um equipamento crítico do setor (projeto-piloto), bem como analisar os resultados obtidos.
- Documentar a metodologia desenvolvida na empresa para que a mesma possa ser implementada em outros equipamentos do setor.

1.2 O PROBLEMA DA PESQUISA

O problema relacionado ao presente trabalho consiste na análise do setor de manutenção atual na empresa em estudo, de modo a verificar a sua capacidade de ser gerenciado as atividades de manutenção de forma efetiva, visto que a mesma não apresenta técnicas de gerenciamento para seus equipamentos de forma definida, principalmente as técnicas que visam o gerenciamento e otimização da confiabilidade do processo produtivo

através de uma gestão de manutenção como forma estratégica de negócio, deste modo como questão pertinente a problema da pesquisa, têm-se:

Como pode ser aplicada uma metodologia de intervenção, baseada na confiabilidade, na gestão de ativos de uma empresa em seu setor de manutenção?

A resposta para esta problemática é apresentada com a utilização prática de uma metodologia de gerenciamento de manutenção embasada na metodologia de manutenção centrada em confiabilidade, sendo este o estudo de trabalho, através de uma pesquisa-ação que narra à aplicação da referida metodologia, realizado em uma indústria do setor sucroenergético.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente por característica do ambiente fabril de alta competitividade, as organizações procuram minimizar seus custos na busca de maior representatividade em seu segmento de mercado, onde o prolongamento da operação de máquinas no processo produtivo torna-se parte vital para sua sobrevivência (KARDEC e NASCIF, 2009). Para atender tal necessidade a busca por metodologias e ferramentas gerenciais como Manutenção centrada na confiabilidade (MCC), análise de modos e efeitos de falhas (FMEA) e raiz de causa e efeito das falhas (RCFA), para análise e controle de falhas que possam comprometer a produção, onde o emprego destas aumentou de forma expressiva ao longo dos últimos anos como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Ferramentas gerenciais utilizadas para promover a qualidade da manutenção nos últimos 18 anos

Ferramentas Utilizadas para Promover a Qualidade (% de Respostas)								
Ano	MCC	5S	FMEA	RCFA	CCQ	TPM	6 Sigma	Outros
2013	19,25	23,26	16,31	17,91	-	12,83	10,43	0
2011	17,03	27,86	17,34	15,79	-	12,69	9,29	0
2009	16,48	28,74	14,94	16,09	-	13,03	10,73	0
2007	18,65	27,22	22,02	17,13	-	10,09	0,92	3,98
2005	15,2	41,18	-	-	10,78	15,69	7,35	9,8
2003	20,31	37,5	-	-	8,33	16,15	5,73	11,98
2001	17,35	37,9	-	-	11,42	14,61	-	18,72
1999	5,62	40,45	-	-	16,29	20,79	-	16,85
1997	2,89	46,24	-	-	12,14	18,5	-	20,23
1995	-	39,83	-	-	17,37	21,61	-	21,19

Fonte: Adaptado Abramam (Associação Brasileira de Manutenção), 2013.

ABRAMAN (2013) em sua pesquisa mostra que nos últimos anos a ferramenta que teve maior participação no crescimento da utilização de métodos alternativos para o melhoramento da manutenção é a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) que saltou de 17,03% em 2011 para 19,25% em 2013. Na mesma pesquisa também foram apontados dados em relação à indisponibilidade operacional devido à manutenção onde a mesma representa 6,15%, o que ressalta a importância de estudar e controlar as falhas dos equipamentos para a redução de quebras/trocas de componentes com enfoque no aumento de produtividade e valorização dos ativos da empresa.

Em termos de custos, Campos e Lima (2012) afirmam, em seu estudo, que a ineficiência do sistema manutenção reflete em resultados como: alta taxa de retrabalho, problemas crônicos, problemas com estoque, elevado número de serviços não previsto e histórico de manutenção não confiável logo, a falta de um sistema de manutenção planejada acarreta em uma baixa produtividade, insatisfação de operadores e uso de técnicas alternativas não confiáveis diminuindo a disponibilidade e confiabilidade de equipamentos que em conjunto com as perdas na produção e o uso da manutenção corretiva elevam o custo da manutenção diminuindo a credibilidade da organização.

Dessa forma percebe-se a relevância deste assunto, o que justifica a proposta deste trabalho, visto que uma vez que os estudos e práticas do princípio de confiabilidade na manutenção nas empresas atuais apresentam-se crescentes no Brasil, o emprego desta prática pode assegurar o aumento da disponibilidade de equipamentos e qualidade da manutenção com ganhos em produtividade, qualidade, segurança e integridade ambiental e bem como a redução dos custos globais da organização.

1.4 ESTUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é apresentado e estruturado conforme os seguintes capítulos:

No capítulo 1 são apresentadas as considerações iniciais do trabalho, apresentação e descrição do tema bem como sua justificativa, problemática e os objetivos, gerais e específicos.

No capítulo 2, em sequência, trata da elaboração da fundamentação teórica do presente trabalho, nele estão contidos conceitos sobre o tema de estudo, descrevendo a

Manutenção Industrial, apresentando suas definições, evolução histórica dos seus métodos e técnicas utilizadas, conceituando-os entre os diversos métodos da manutenção e diretrizes empregadas, bem como a abordagem de métodos de confiabilidade empregados na manutenção configurando o tema de Engenharia da Confiabilidade.

No capítulo 3 complementando a fundamentação teórica é tratado conceitos da Engenharia da Manutenção em termos específicos sobre o objeto de estudo, a fim de delimitar a pesquisa em torno da problemática apresentada, ou seja, nele serão abordado conceitos e definições empregadas na MCC, bem como sua evolução temporal, descrição das ferramentas utilizadas como análise de modos e falhas (FMEA).

No capítulo 4 é apresentada a proposta metodológica do trabalho a ser utilizada para o alcance dos objetivos do mesmo, com uma breve descrição operacional de cada etapa escolhida identificando a cronologia de apresentação da pesquisa-ação.

No capítulo 5, é realizada a pesquisa-ação, onde a MCC é aplicada em um equipamento crítico do processo na empresa, bem como os resultados obtidos e a análise dos resultados.

No Capítulo 6, são apresentadas as conclusões do trabalho, finalizando o presente estudo, com breves descrições dos resultados gerais obtidos e a identificação das limitações do trabalho e a proposição de sugestões para a realização de futuros trabalhos.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

2.1.1 Surgimento da Mecanização Industrial

A Revolução Industrial é um grande marco na história da humanidade, pois a mesma provocou profundas modificações na sociedade, economia e no espaço organizacional das vias urbanas. O trabalho antecessor de características fabris tinha como base a forma artesanal, principal característica da Baixa Idade Média com produção de caráter familiar, na qual o artesão possuía os seus próprios meios de produção, o mesmo era responsável pelo preparo da matéria-prima até o acabamento final o que acabava limitando o desenvolvimento da produção (CARVALHO, 2014).

O século XVIII foi marcado pelo grande salto tecnológico em questão de transporte e máquinas, com a invenção e melhoras introduzidas no motor a Vapor por James Watt em 1764 ao qual permitiu aumentar o rendimento da máquina em 75% que constituíram num passo fundamental para a Revolução Industrial onde a mesma marcou o início da mecanização industrial. A substituição do homem pela máquina contribuiu para o aceleração do ritmo de produção e por consequência a queda no preço do produto final, tais máquinas foram substituindo aos poucos a mão de obra humana, para aumentar a sua resistência a madeira foi substituída pelo metal, o qual impulsionou o avanço da siderurgia, a abundância de materiais como o ferro e carvão, matérias primas fundamentais para a construção de máquinas e produção de energia também estimularam a mecanização das instalações fabris (DATHEIN, 2003).

Deste modo, com o desenvolvimento de ferramentas e máquinas padronizadas, impulsionadas após o surgimento da eletricidade e o uso de derivados do petróleo como fonte de energia, segunda revolução industrial, bem como a substituição do ferro para o aço como matéria base, contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento do trabalho em cadeia, a mecanização e a divisão hierárquica dos trabalhadores, sendo estas consideradas às inovações mais importantes nas organizações durante a Revolução Industrial, o que permitiu

um aumento da produção em larga escala industrial, em um curto espaço de tempo, e posteriormente na busca por eficiência operacional. (COSTA, 2008).

2.1.2 Definição de Manutenção

A Manutenção Industrial teve início com a mecanização industrial em meados do século XIX, segundo MONCHY (1997) apud Viana (2002 p. 1), a utilização do “termo manutenção tem sua origem no vocábulo militar”, no qual o sentido era manter a efetividade e disponibilidade de material a um nível constante de aceitação, posteriormente tal conceito passou-se a ser aplicado no processo de modernização das indústrias, onde a confiabilidade e disponibilidade de equipamentos começaram a ter uma maior importância, deste modo às indústrias passaram a exigir uma metodologia de intervenção, com a finalidade de garantir a continuidade e a qualidade do serviço a ser efetuado (KARDEC e NASCIF, 2009).

VIANA (2002) relata que “a palavra manutenção é derivada do latim *manentus tenere*, ou seja, manter aquilo que se tem em seu estado”, respectivamente em relação ao desempenho de uma função requerida.

A Associação Brasileira de Normas Técnica NBR-5462 (1994) define manutenção como:

A combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Podendo incluir a modificação de um item. (ABNT 5462, 1994).

Manutenção também pode ser definida como um conjunto de ações técnicas, de características intervencionistas, que são indispensáveis ao pleno funcionamento do desempenho de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Estas ações envolvem cuidados com a conservação, a eficiência, a disponibilidade, a conformidade, a restauração, a predição e a prevenção (SIMEI, 2012).

Para LUCATELLI (2002 p.34), “o conceito de manutenção não é novo, pois o mesmo acompanha toda a história da evolução de equipamentos desde o desenvolvimento das primeiras máquinas a vapor até as instalações fabris atuais”.

2.1.3 As Gerações da Manutenção.

A manutenção desde seu surgimento até os dias atuais sofreu importantes transformações em seus métodos no decorrer do espaço temporal, principalmente nas últimas três décadas, (MOUBRAY 2000). O mesmo autor considera em sua concepção que o gerenciamento da manutenção foi um dos métodos que mais se inovou nas décadas de 1990 e 2000, em consequência de diversas mudanças, sejam estas em termos de minimização de custos, ou pelas mudanças na visão do conceito de manutenção, onde tais mudanças caracterizam-se como o fruto da necessidade da otimização dos processos produtivos imposta pelo mercado em períodos de cenário de alta competitividade.

Kardec e Nascif, (2009) destaca que ao analisarmos a linha do tempo do gerenciamento da manutenção ao longo de 70 anos o enfoque dado a manutenção, em questão a características de comportamento, são divididas em quatro gerações.

A primeira geração da manutenção teve início por volta do século XVI na Inglaterra, com os aprimoramentos das máquinas a vapor, construção de grandes máquinas têxteis, perdurando até meados da Primeira Guerra Mundial, nesse período a indústria era pouco mecanizada e a não complexidade dos equipamentos permitiam a fácil manutenção dos mesmos, o termo manufatura aos poucos iam ganhando forma, porém a padronização do processo e produtos não era prioritária, a manutenção era de caráter não-planejada, atuação somente após a ocorrência da falha, Manutenção Corretiva (MC), ou seja, as ações eram estreitamente corretivas não havendo a necessidade de uma manutenção sistemática (PINTO e XAVIER 2012; LUCATELLI, 2002).

A segunda geração da manutenção surge na Segunda Guerra Mundial, na primeira guerra mundial a escassez da mão de obra aumentou-se de forma significativa, deste modo houve a necessidade de introduzir máquinas ao ambiente fabril, onde houve um rápido aumento da mecanização, deste modo a atividade de manutenção passou a ser vista com certa importância havendo a necessidade de uma nova prática para a manutenção, desse modo surgiu a prática de Manutenção Preventiva, devido à busca de maior disponibilidade e confiabilidade de maquinário. (QUEIROZ et. al, 2013)

A terceira geração da manutenção teve seu marco no final da década de 1970, impulsionada pelas constantes modificações na produção das indústrias, devido às novas exigências do mercado e a concorrência a nível internacional, forte automatização do

processo, e o advento da informática, e o conceito *just in time*, estoque zero, levou-se a percepção pelas indústrias da importância da confiabilidade e disponibilidade de equipamentos, reforçando o conceito de manutenção preditiva (QUEIROZ et al., 2013, Kardec e Nascif, 2009)

Neste contexto o conceito de “Padrões de Qualidade”, tanto em serviço quanto em qualidade em produtos, ganha força e para poder mantê-lo em níveis de excelência os mesmos requerem a um enfoque no estudo da confiabilidade e disponibilidade, partindo deste pressuposto o uso de ferramentas de apoio a manutenção como a análise dos modos de falha e efeitos (FMEA), com variações voltadas para a confiabilidade (FMEA para projeto) e manutenibilidade (FMEA para processo), e por consequência surgem novas metodologias de intervenção a fim de estabelecer padrões de qualidade aceitáveis como o TPM e a MCC (KARDEC e NASCIF, 2009; LUCATELLI, 2002).

A quarta geração da manutenção lida com uma dura concorrência nas indústrias de fabricação, deste modo, surge um novo conceito de manutenção onde as empresas passaram a investir em plantas fabris altamente automatizadas em todo o seu sistema de produção buscando a excelência em seus equipamentos. Para que as empresas possam sustentar a sua influência no mercado global, esta nova geração visa que a plena utilização de equipamentos é vital para a organização a fim de manter o desempenho fabril exigido, bem como a maximização dos lucros. Portanto, o sistema manutenção passa a desempenhar um papel crucial na garantia de que todo o sistema funcione de forma eficiente e eficaz (SHARMA; YADAVA; DESHMUKH, 2011).

Neste Contexto, para Murray et al, (1996), o desempenho das operações de manutenção vem se tornando crucial nas empresa onde atualmente as operações de manutenção não se concentram apenas em reparações e atividades de substituição de peças de reposição, é também desempenha um grande papel como ele influenciou a execução de trabalhos de manutenção. Assim, a gestão da manutenção deve cobrir todas as fases do ciclo de vida do equipamento.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção se classificam em diversos tipos e segmentos. Para Queiroz et al. (2013 p.31), “a Manutenção Industrial basicamente se dividem em dois tipos: Manutenção Planejada e Manutenção não Planejada”.

Para o mesmo a manutenção não planejada consiste na não programação da atividade de manutenção com enfoque na correção de falhas, após a sua ocorrência, ou seja, caracterizando-se na manutenção corretiva, onde falhas não podem ser previstas podendo acontecer a qualquer instante.

Segundo Gurski (2002), a manutenção planejada pode ser entendida como um conjunto de ações que podem levar a uma diminuição ou eliminação de perdas no processo produtivo, otimizando o tempo de reparo e minimizando custos operacionais.

Para Smith e Hawking (2004), as atividades de manutenção planejadas envolvem tarefas documentação da manutenção, identificação dos recursos e necessidades de materiais, bem como a duração de execução destas tarefas.

2.2.1 Manutenção Corretiva ou Reativa

A manutenção corretiva é propriamente dita como estritamente responsável pela correção de uma falha identificada em um determinado componente do equipamento (SOUZA, 2011).

De acordo com a NBR-5462 (1994), a manutenção corretiva é aquela que é efetuada apenas após a ocorrência de uma pane, ou seja, ocorrência de uma falha, ao fazer uso de uma atividade de reparo a fim de desenvolver as suas funções de execução do equipamento requeridas.

2.2.2 Manutenção Preventiva

Para Romero (2011), a manutenção preventiva visa exercer operações de previsão de falhas, no intuito de se conhecer, “prever” e controlar as falhas dos equipamentos de modo a

minimizar a probabilidade das falhas deste, como base na definição de tarefas de intervenção periódicas pré-definidas.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção preventiva é a ação realizada de forma a minimizar ou evitar falha do equipamento, seja de qual natureza for a fim de manter o seu desempenho funcional, obedecendo a um plano de manutenção elaborado de forma preventivamente, baseado em intervalos definidos de tempo.

Romero (2011), também define que as atividades de intervenção definidas rotineiramente com o intuito de prevenir, reparar ou substituir componentes que estejam próximos ao seu tempo de falha, podem ser consideradas como práticas da manutenção preventiva, mas ainda ressalta que tais intervenções devem ser realizadas de maneira programada, para não ocasionar efeitos negativos na disponibilidade operacional do ambiente fabril.

2.2.3 Manutenção Preditiva

Para Souza (2008), a manutenção preditiva é um sistema em que as intervenções estão condicionadas a frequência de algum evento ou a uma base de dados de informações temporais que revelam o estado de degradação do equipamento ou do componente do mesmo.

Segundo Almeida (2008), a manutenção preditiva é uma filosofia ou método que usa a condição operacional real do equipamento e sistemas para se melhorar a produtividade, padrões de qualidade do produto, o lucro do exercício e a efetividade da operação total da planta industrial.

A adição de um programa de gerência preditiva abrangente pode fornecer dados sobre a condição mecânica real de cada máquina e o rendimento operacional de cada sistema de processo, podendo minimizar o número de quebras de todos os equipamentos mecânicos da planta industrial e assegurar que o equipamento reparado esteja em condições mecânicas aceitáveis (ALMEIDA, 2008).

2.3 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

2.3.1 Contextualização

O termo confiabilidade na Manutenção, do inglês *Reliability*, teve origem na década de 1950 na necessidade da análise de falhas em equipamentos de características eletrônicas para uso militar, nos Estados Unidos (KARDEC e NASCIF, 2009). Segundo Lafraia (2001), com o surgimento da indústria aeronáutica após a primeira Guerra mundial começou-se a desenvolver os primeiros estudos de análise de confiabilidade pelo matemático Robert Lusser, no fim da década de 1940, onde o mesmo desenvolveu uma equação associada à confiabilidade de um sistema em série.

Segundo a NBR 5462 (1994),

A confiabilidade de um item é a capacidade de que este item possa desempenhar sua função requerida, sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. O termo “confiabilidade” é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade (ABNT 5462, 1994).

Para Cristino; Cordeiro e Lins (2007), a confiabilidade é definida como uma probabilidade compreendida em uma função de um determinado período de tempo, onde todas as confiabilidades devem estabelecer seus valores de risco inicialmente em 0, onde a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu propósito especificado em um determinado intervalo de tempo e sob condições ambientais predeterminadas sem falhas.

2.3.2 Medidas de Confiabilidade

2.3.2.1 Funções

Segundo Moubray (2000) apud Zaions (2003), uma função consiste em uma generalização de uma descrição matemática entre dois elementos, ação de um objeto e o

padrão de desempenho desejado. De acordo com a norma SAE JA 1012 (2002), as funções podem ser divididas em funções principais, caracterizadas pela capacidade de ser desempenhar a função esperada a se dos ativos físicos, e em funções secundárias, demais funções desempenhadas pelos ativos, a mesma também alerta para a negligência em uma não identificação corretas destas funções, principalmente a funções secundárias, pois as mesmas são menos “óbvias” de ser identificar em relação às funções primárias onde estas funções secundárias podem apresentar graves consequências caso sua função primária seja perdida, deste modo a norma sugere uma atenção aos dois tipos de funções, visto que estas devem estar claramente identificadas e documentadas.

2.3.2.2 Tempo até a falha e taxa de falha

Segundo Filho (2008), uma falha pode ser definida como a impossibilidade de um ativo físico ou sistema de desempenhar uma função específica, pela perda de suas funções primárias durante um determinado período de tempo. Para Siqueira (2012), as falhas se classificam em funcionais remetendo-se a incapacidade de qualquer item físico cumprir uma operação ao nível de padrão de desempenho aceitável e potenciais onde a ocorrência de uma falha apresenta-se em uma condição identificável e que possa ser mensurável.

O tempo até falha de um componente ou sistema compreende-se em no intervalo de tempo transcorrido desde o momento em que o equipamento é colocado em operação até a sua primeira falha, assumindo um $t = 0$ como início da operação do equipamento, em relação ao tempo até falha, o mesmo pode ser definido como uma variável aleatória onde a mesma segue uma distribuição de probabilidade. Se $X(t)$, variável de estado, for uma variável aleatória representando o tempo t , a função confiabilidade $R(t)$ no instante t , pode ser definida pelo estado, $X(t) = 1$, caso o equipamento não encontrar-se em tempo operacional em um tempo t , $X(t)$ pode ser definida como $X(t) = 0$ (FLOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Flogliatto e Ribeiro (2009 p. 10), complementa ao afirmar que a taxa de falha ou taxa de falha instantânea $z(t)$ em um intervalo $\Delta t \rightarrow 0$ é a relação entre quantidade de risco em que um componente venha a falhar, a ser esta exposta a um longo período de tempo, e o número de componentes sobreviventes em um instante t , podendo ser obtida pela derivada da função de probabilidade condicional de falha em um intervalo de $(t, t + \Delta t)$, ou seja, uma taxa de

falha é a determinação da frequência de falha por um componente de intervalo Δt em relação à população sobrevivente ao início deste intervalo, dada por:

$$Z(t) = \frac{1}{n-n_f} \cdot \frac{dn(t)}{dt} = \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (1)$$

Onde, $R(t)$ = função confiabilidade e o tempo médio até a falha, MTTF.

O tempo médio até a falha de um equipamento, do inglês *mean time to failure*, é definido por:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2)$$

Romero (2011) complementa que a função confiabilidade é sempre decrescente com o tempo, de modo que uma probabilidade de um componente sobreviver sempre diminui em relação a sua taxa de utilização, podendo apresentar mecanismos como causas o desgaste e a fadiga em relação ao tempo.

2.3.2.3 Função Confiabilidade, $R(t)$

Segundo Flogliatto e Ribeiro (2009 p. 10), “a confiabilidade de um sistema é definida como a sua probabilidade acumulada de sucesso, em um tempo t ”, a função confiabilidade $R(t)$ é:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0} \quad (3)$$

Onde,

$n_s(t)$ = unidades sobreviventes; $n_f(t)$ = unidades que falharam e $n_0 = n_f(t) + n_s(t)$.

Considerando-se a variável aleatória T em função de confiabilidade em um tempo t , a função confiabilidade $R(t)$ pode ser expressa da seguinte forma:

$$R(t) = P(T > t) \quad t \geq 0 \quad (4)$$

2.3.2.4 Disponibilidade de Equipamentos

A disponibilidade de equipamento é um dos principais indicadores de confiabilidade utilizados no MCC. Para Nepomuceno (2006), o conceito de disponibilidade consiste em uma medição que tem por finalidade indicar a taxa de tempo total em relação ao tempo real do equipamento que esta disponível para operação.

Segundo a NBR-5462 (1994), a disponibilidade de um equipamento é a capacidade do mesmo em estar em condições de executar certa função em um curto momento ou durante um intervalo de tempo pré-determinado, considerando-se aspectos característicos de sua confiabilidade e manutenibilidade, assegurando-se assim a disponibilidade destes recursos para suprir função requerida.

A disponibilidade para uma unidade é dada por (NEPOMUCENO, 2006):

$$A(t) = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (5)$$

Onde,

MTTF = tempo médio até a falha e MTTR = tempo médio para reparo do item físico.

2.3.2.5 Manutenibilidade

Segundo a NBR-5462 (1994) a manutenibilidade é definida como, a capacidade de um item de em se manter preservado ao ser condicionado a operar de acordo com as suas funções desejadas, em conformidade com as especificações pré-estabelecidas através de ações planejadas.

2.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE APLICADAS À MCC

Tratando de estudos da Confiabilidade em Manutenção, fazendo analogia com a função confiabilidade, há uma necessidade de determinar uma distribuição de probabilidade que se ajuste aos dados de tempo de vida do sistema ou componente em estudo (WUTTKE e SELLITTO, 2008). Existem quatro distribuições de probabilidade com alta frequência de

aplicação, para delinear o comportamento do tempo até a falha de sistemas e componentes, são descritas na sequência: (i) Exponencial, (ii) Weibull, (iii) Gama e (iv) Lognormal. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

A Distribuição Exponencial é usada para definir sistemas com taxas de falhas, função de risco, constantes (ROMERO, 2011). Suas representações em termos de confiabilidade, para $t \geq 0$ são apresentadas nas equações (6), (7), (FLOGLIATTO e RIBEIRO, 2009) onde o estimador parâmetro de máxima verossimilhança λ , para amostras completas é dado por:

$$\Lambda = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (6)$$

A função distribuição de probabilidade, na qual λ indica a taxa de falhas e t representa o tempo até a falha é expressa como:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Para Wuttke e Sellito (2008), a distribuição exponencial na maioria das vezes é aplicada em componentes, onde os dados de falhas são de causas de grande variabilidade, bem como a grande aplicação em sistemas complexos não redundantes, a distribuição de Weibull, também uma distribuição exponencial, a mesma também é apropriada para modelagens de tempos até a falha que apresentam taxa de falhas constantes.

A função confiabilidade da distribuição de Weibull, para $t \geq 0, \gamma > 0, \theta > 0$, é fornecida da seguinte maneira:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} e^{-t^\gamma/\theta} \quad (8)$$

Assim como a distribuição de Weibull, a distribuição gamma é uma generalização da distribuição exponencial, logo a o equipamento também estará sujeito a uma série de falhas que se comportam á uma ocorrência de forma exponencial, distribuição de Poisson, com intensidade λ , onde geralmente as distribuições gamma descrevem sistemas operantes com blocos ou dispositivos em paralelo (CARNAÚBA e SELLITO, 2013; WUTTKE e SELLITO, 2008; ROSS, 2006). As medidas de confiabilidade de interesse para a distribuição gama em $t \geq 0$, com parâmetros de $\gamma > 0$ e $\lambda > 0$ temos a função confiabilidade expressa em :

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t} \quad (9)$$

A distribuição Lognormal é muito empregada na modelagem de tempos até o reparo, em equipamentos que podem ser reparáveis, onde a mesma determinar a probabilidade de um operador completar a ação de reparo com o passar do tempo, para valores de $\mu \gg \sigma$, a função lognormal aproximasse da normal assumindo uma função confiabilidade como (DODSON e NOLAN, 2002):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-1}{2}\left|\frac{(\ln t - \mu)}{\sigma}\right|^2\right), \quad t > 0. \quad (10)$$

3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS À MCC

MCC é um processo que relaciona a manutenção com os requisitos de ativos físicos da planta fabril e para a produtividade a ser desejada, com enfoque na efetividade, segurança e confiabilidade do processo, atingindo assim os objetivos operacionais pré-estabelecidos de acordo com os padrões de desempenho previstos da organização a um menor custo (SOUZA, 2008). Marten (2010), reafirma esse conceito ao dizer que a MCC é uma abordagem sistemática para determinar a manutenção e seus requisitos de instalações e equipamentos no seu pleno funcionamento, a mesma é utilizada para otimizar as estratégias da manutenção preventiva com o objetivo de minimizar as falhas do equipamento, desempenhando a eficácia dos equipamentos em plantas industriais.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) a MCC é um programa que por suas características de perfil reúne várias técnicas de engenharia partindo do pressuposto de assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuem a realizar o seu desempenho original, tanto em custo como em funcionalidade onde a mesma possui uma abordagem racional e sistemática, onde todos devem compreender o que é esperado de cada equipamento, as funções das quais ele deverá cumprir e o padrão de desempenho que deve ser constante durante a sua vida útil, quando utilizada corretamente, serve como principal ferramenta de apoio para o Gerenciamento da Manutenção com intuito na minimização de paradas e maior disponibilidade de ativos.

Campbell e Reyes-Picknell (2006) afirmam que a MCC deve compreender através de três passos iterativos para que os resultados sejam alcançados. Primeiro, o processo da MCC deve examinar a função do ativo e compreender as metas de produtividade do mesmo. Em segundo lugar, deve-se identificar dentre vários métodos pelos quais um ativo pode falhar qual deve ser explorado, incluindo neste o histórico do impacto de falhas. Por fim em terceiro lugar, dependendo dos resultados obtidos analisados nas etapas anteriores, o Sistema MCC deve desenvolver estratégias de mitigação que podem ser implementadas contra falhas descritas como potenciais.

A dificuldade em selecionar uma estratégia de manutenção adequada para cada equipamento e cada modo de falha, em relação à grande variedade e complexidade de cada equipamento em conjunto com fatores incertos da decisão estratégia de manutenção, pode acarretar em vários erros de planejamento em estratégias de mitigação deste modo a integração da manutenção preditiva, monitoramento em tempo real até ocorrer a falhas e a manutenção pró-ativa, uso balanceado de técnicas voltadas à confiabilidade, torna-se grande característica do programa MCC onde a principal funcionalidade é aumentar a probabilidade de uma máquina desempenhar seu pleno funcionamento ao longo de todo o seu ciclo de vida do projeto com um percentual mínimo de intervenções (WANG e CHU, 2007).

3.1.1 Normalização da MCC

Em questão de aplicação e utilização da MCC foram criadas normas como forma de direcionamento para implantação da MCC nas empresas sendo este, o principal guia de orientação, como é o caso da Norma SAE JA 1012:2002, norma esta empregada para veículos terrestres. O principal objetivo desta norma é desenvolver e classificar cada um dos critérios baseados na engenharia da confiabilidade que devem ser aplicados para uma correta aplicação da MCC onde a norma o define a mesma como:

MCC é um processo específico utilizado para identificar as políticas que devem ser implementadas para lidar com os modos de falha que podem causar uma falha funcional de qualquer ativo físico em um contexto operacional dado (SAE JA1012, seção 1.1, 2002).

3.2 APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO NA VISÃO DA MCC

O emprego do MCC se for aplicado corretamente resulta em uma redução das atividades de intervenção e por consequência nos custos globais de produção, onde sua aplicação é avaliada de acordo com o tempo de operação e indicadores de confiabilidade em

relação a este tempo como a taxa de falhas acumuladas e a função confiabilidade (LAFRAIA, 2001).

A MCC em sua grande maioria, em termo de aplicação, é responsável pela identificação e seleção das tarefas de manutenção preventivas aplicáveis e efetivas fazendo assim o uso de recomendações e revisões ou a elaboração de novas tarefas para manutenção ou exclusão de tarefas ineficazes, bem como a identificação dos tipos e consequências das falhas no equipamento, através do diagnóstico dos modos de falhas potenciais, como mostra a Figura 1, onde ilustra a árvore lógica de decisão para as falhas da MCC, modele este proposto por Smith (1993) e adaptado por Zaions (2003), que se adequadamente respondida, conduzem a especificação do modo de falha de alguma tarefa da manutenção (ZAIIONS, 2003).

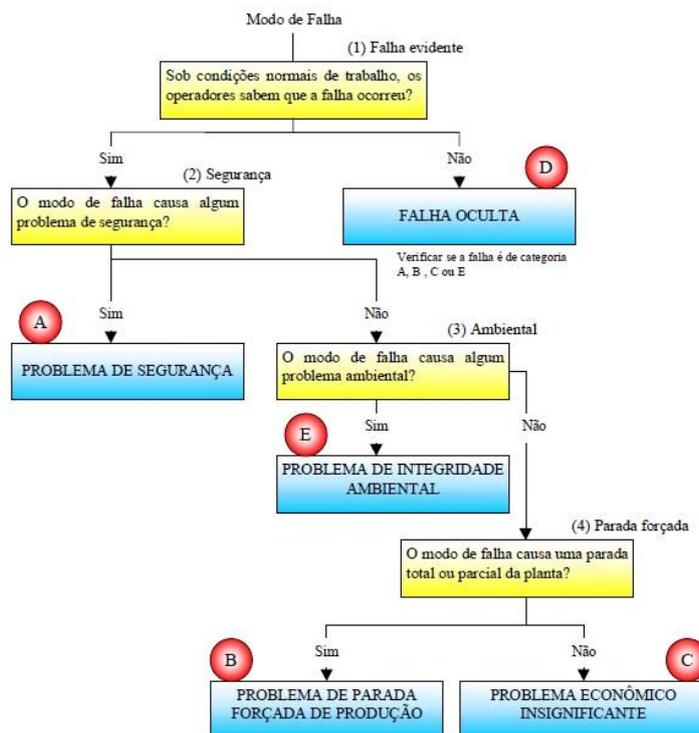


Figura 1 – Árvore lógica de decisão através da análise dos modos de falhas da MCC. Fonte: Zaions (2003, p.80).

Para Flogliatto e Ribeiro (2009), a MCC pode ser implementada em nove etapas, que envolvem tarefas como: (i) escolha da equipe, (ii) capacitação da MCC, (iii) análise e estabelecimento de critérios de confiabilidade, (iv) escolha da base de dados, (v) aplicação da FMEA, (vi) seleção das atividades de MP pertinentes, (vii) documentação das atividades de MP, (viii) definição de metas e indicadores e (ix) validação do programa de MCC, onde tais etapas devem ser planejadas antes de sua aplicação estabelecendo sua ordem cronológica de aplicação. O anexo F ilustra o Diagrama de Decisão Lógica da MCC em uma visão de aplicação baseado na decisão da atividade de manutenção conforme atenda os critérios de aplicabilidade e efetividade modelo este proposto por Moubrey (2000).

A implantação da análise pela MCC gera como benefícios uma melhoria na compreensão do funcionamento do equipamento ou sistema, no qual o desenvolvimento do trabalho em grupo, equipe da MCC, proporciona um impacto de forma positiva em questões de solução de problemas e estabelecimento de metas, definição das funções e padrões de desempenho, e tarefas da manutenção, bem como a definição de como um item pode falhar através do estudo dos modos de falhas (FMEA), desenvolvendo mecanismos de evitar falhas que possam ocorrer ao longo do tempo de operação do equipamento (ZAIONS, 2003; MOUBRAY, 2000; SMITH, 1997).

Segundo Smith (1997), o objetivo de aplicação da MCC é no intuito de preservar as funções do sistema funcional ao identificar os modos de falhas que influenciam a mesma, tendo em vista a indicação da importância de cada falha funcional e para estas desenvolver tarefas preventivas, logo para se alcançar este objetivo o trabalho da MCC na visão de Smith se desenvolve em 6 passos genéricos sendo estes: (i) seleção do sistema e levantamento de dados; (ii) definição das fronteiras do sistema, (iii) descrição dos sistemas e subsistemas, (iv) identificação das funções e falhas funcionais, (v) análise dos modos de falha (FMEA) e (vi) diagrama de decisão para a MCC.

Para Queiroz et al (2013), a aplicação da MCC em uma determinada empresa, requer o uso de mapeamento de todos os ativos físicos da planta que poderão receber o programa de MCC, facilitando assim sua aplicação resultando em uma manutenção mais eficiente.

Já para Rausand e Einarson (1998), o processo de aplicação da MCC pode ser alcançado em oito passos, cada qual com dependência de uma etapa anterior até que se finalizem todas se configurando na MCC, sendo estes: (i) preparação do estudo, (ii) seleção do sistema, (iii) (AFF) análise das funções e falhas funcionais, (iv) seleção dos itens críticos, (v) coleta e análise de informações, (vi) análise FMEA, (vii) seleção das tarefas de manutenção e por fim em (viii) determinar a frequência das tarefas de manutenção.

3.1.2 Análise de Modos e Efeito de Falhas

A análise dos modos e efeitos de falhas na MCC consiste em identificar os modos de falhas potenciais de itens físicos críticos do processo ou projeto, utilizando-se o emprego da ferramenta FMEA (do inglês, *Failure Mode and Effect Analysis*), que consiste em um sistema

lógico que hierarquiza as falhas potenciais fornecendo recomendações para ações preventivas, usando-a na fase de processo, orientada pela manutenção, para a deliberação de falhas potenciais e gargalos no processo global da linha ou do bloco funcional do equipamento (KARDEC e NASCIF, 2009).

Os principais benefícios do uso da FMEA de processo em estudos de confiabilidade da manutenção referem-se à identificação dos parâmetros do processo dos quais devem ser controlados a fim de reduzir ou detectar a condição de falha no processo, priorização dos modos potenciais de falhas, de forma sequencial e hierárquica, objetivando as ações de melhoria no processo, auxílio na avaliação objetiva do tipo de manutenção aplicado ao sistema, documentação dos resultados de estudo, reduzindo as incertezas de análises futuras do processo de manufatura ou montagem, servindo de referencial para análise e melhorias de processos similares, bem como o aumento do conhecimento da equipe da MCC em relação a aspectos associados à qualidade e confiabilidade do produto (QUEIROZ et. al, 2013).

Para Helman e Andrey (1995), o formulário FMEA permite a padronização de procedimentos a se fazer o uso de registro de históricos de análise de falhas, sendo utilizados posteriormente em outras revisões da FMEA ou em equipamento similares.

Para Zaions (2003), a planilha da FMEA aplicada ao MCC deve ser elaborada identificando cada falha operacional, a qual deve ser identificada no cabeçalho da planilha juntamente com as demais informações sobre o sistema e subsistemas, sendo este cabeçalho elaborado, particular de cada empresa, geralmente o mesmo contém o número da FMEA, identificação do processo e do(s) item(s) associado(s) ao equipamento, o modelo ao qual ele corresponde e o setor responsável pelo estudo o nome do responsável estudo da FMEA e a data do documento.

Já para a *Ford Motor Company* (1995), de forma a facilitar a documentação da análise dos modos de falhas potenciais e seus efeitos, para o cabeçalho da FMEA, o mesmo deve conter as seguintes informações: (i) o número de documento do FMEA, (ii) o sistema, subsistema em análise ou o número do componente, (iii) o nome do responsável pela FMEA, (iv) nome da Equipe do FMEA, (v) data inicial da análise da FMEA e data de revisão da mesma.

Após o preenchimento do cabeçalho, inicia-se o preenchimento das colunas da planilha, as colunas compreendem a especificação do sistema e operações bem como os modos de falhas, sendo assim preenchidas respectivamente como: (i) item, (ii) nome do componente, (iii) função, (iv) modo de falha, (v) efeitos, (vi) causas, (vii) controles atuais, (viii)

índices G (gravidade), D (detecção), O (ocorrência) e (xi) ações recomendadas (HELMAN e ANDREY, 1995)

O índice de severidade (S) consiste em uma avaliação qualitativa da severidade do efeito, sendo medida em uma escala de 1 a 10, onde 1 representa um efeito pouco severo e 10 significa um efeito de alto grau de severidade, sendo assim a severidade aplicada exclusivamente ao efeito, como indicado no Anexo E, (CARPINETTI, 2010).

Para a quantificação do risco (R), priorização das ações de correção e melhorias no processo, são usados três índices de criticidade para a mensuração de aspectos envolvidos na análise, os índices são a ocorrência, probabilidade de ocorrência de falha, severidade, consequências negativas a falha e detecção, probabilidade de detectar uma falha antes que a mesma seja percebida pelo operador. As atribuições de valores para cada um dos itens obedecem ao impacto negativo sob a falha potencial, esses valores são multiplicados e comparados á um índice base pré-estabelecido, para por fim estabelecer as ações recomendadas de modos de falhas que tenham sido priorizados (ROZENFELD et. al, 2006).

4 METODOLOGIA

A metodologia descrita no presente trabalho tem por objetivo apresentar a tarefas advindas dos critérios estabelecidos para um processo de elaboração da MCC.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para Lakatos e Marconi (2005), a pesquisa, é um procedimento formal, utilizando-se de método de pensamento reflexivo, onde se constitui no caminho para produção do conhecimento técnico-científico a fim de conhecer a realidade ou descobrir através do método verdades parciais.

Do ponto de vista da abordagem do problema de pesquisa, de acordo com Silva; Menezes (2005) o trabalho pode ser classificado como quantitativa ao requerem do uso de recursos e técnicas estatísticas para que informações e opiniões coletadas possam ser traduzidas em números, analisadas e classificadas, o trabalho também se classifica como qualitativo, pois ao mesmo tempo faz-se o uso de interpretações de situações e variáveis de forma subjetiva não mensuráveis, logo o presente trabalho configura-se em uma pesquisa quali-quantitativa.

Para abordagem em relação aos objetivos, segundo Fonseca (2002) a Pesquisa se caracteriza como uma aplicada, sendo o estudo classificado com uma pesquisa-ação, onde envolve um levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas experientes no problema da pesquisa, bem como se realiza a coleta de dados junto a estas pessoas, onde há uma colaboração entre os especialistas como uso de diversos recursos, na busca de solucionar um problema real e específico identificado em uma determinada empresa.

Para Thiollent, (2005), para que a pesquisa seja classificada como pesquisa-ação a mesma deve conduzir uma ação por parte do grupo envolvido na pesquisa sob o problema em observação onde os colaboradores da pesquisa desempenham um papel ativo no acompanhamento e nas avaliações das atividades em função do objeto de pesquisa.

De acordo com Turrioni e Mello (2012 p.173) em termos de abordagem pode se definir a pesquisa-ação:

Como uma abordagem para a solução de problemas, ela é uma aplicação [...] para os problemas práticos que requerem ações de solução envolvendo a colaboração e cooperação dos pesquisadores e dos membros do sistema organizacional.

Neste cenário Boccato (2006) afirma que a pesquisa bibliográfica é configurada neste estudo com o objetivo de colher informações a respeito do problema em análise para o qual se busca uma resposta, proporcionando um aprofundamento da investigação, ao facilitar a identificação e seleção dos métodos e técnicas a ser utilizadas.

Segundo Thiollet (2005), o presente estudo usa as técnicas de coleta de dados direta (*in loco*), em conjunto com a fundamentação teórica, onde são utilizadas entrevistas coletivas ou individuais e o uso de técnicas documentais o que facilita a compreensão do problema, onde a avaliação envolve uma reflexão dos resultados da ação.

4.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Partindo do embasamento da fundamentação teórica, no intuito de alcançar os objetivos pré-estabelecidos, como instrumento de pesquisa, foi definido um conjunto de procedimentos, adotados no presente trabalho, baseados de acordo com as propostas de estudo de elaboração da MCC por Siqueira (2012), Flogliatto e Ribeiro (2009), Moubray (2000), Rausand e Einarson (1998) e Smith (1997), deste modo foram sequenciadas 8 etapas para a aplicação na empresa em estudo como mostra a Figura 2.

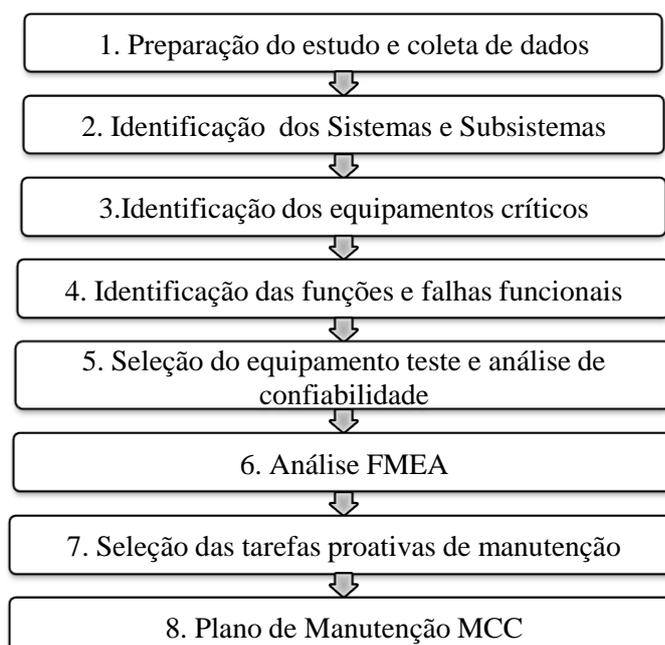


Figura 2- Procedimentos adotados para a MCC.

O detalhamento de cada etapa segue uma ordem cronológica ao longo do tempo de implantação da MCC na empresa em estudo, sendo seus procedimentos explicitados na sequência.

- Etapa 1 - Preparação do estudo e coleta de dados: nesta primeira etapa, ocorreu a definição do grupo de colaboradores da manutenção, sendo denominado “Equipe da MCC” como sugere Fogliatto e Ribeiro (2009), em uma empresa do ramo sucroenergético, bem como a coleta de informações iniciais necessárias para o estudo da metodologia de implementação da análise MCC como: análise do sistema de gerenciamento da manutenção atual na empresa, arranjo fabril e processo produtivo, relação dos equipamentos a sua funcionalidade no processo e histórico de falhas dos equipamentos.
- Etapa 2 – Identificação dos Sistemas e Subsistemas: esta etapa compreendeu-se na identificação e determinação dos sistemas e subsistemas funcionais, da fábrica em relação ao processo produtivo do álcool hidratado carburante de acordo com aplicação da MCC, para o presente trabalho a seleção do subsistema piloto deste se dá por análise dos itens físicos críticos *in loco*, por intermédio de uma estratificação dos dados coletados dos sistemas e subsistemas que apresentam maior número de equipamentos críticos, a coleta de informações para a estratificação dos equipamentos críticos do sistema e subsistema se deu pela elaboração e preenchimento da planilha de criticidade dos equipamentos.
- Etapa 3 – Identificação dos equipamentos críticos: reconhecimento dos equipamentos críticos e potencialmente críticos do processo correlacionando-os as consequências das falhas funcionais, apoiados com a utilização do software Universo Sigma, a partir da análise de equipamentos em que se faz o uso de manutenção seja ela preventiva, preditiva e corretiva, em relação de variáveis funcionais das falhas como: segurança e meio ambiente, qualidade e produtividade, disponibilidade, operacional, ocorrência de quebra e manutenibilidade.
- Etapa 4- Identificação das Funções e Falhas Funcionais: identificação das funções de um equipamento crítico do subsistema piloto, e a definição das falhas funcionais do mesmo, por intermédio de elaboração da descrição da operação do subsistema em reuniões da equipe da MCC, observações *in loco* e a verificação da incapacidade dos equipamentos de cumprir sua função de forma efetiva com base na análise dos dados históricos dos equipamentos em relação às falhas ocorridas e ações corretivas

desenvolvidas bem como a opinião especializada dos gestores e operadores da manutenção do setor em estudo.

- Etapa 5- Seleção do equipamento teste e análise de confiabilidade: priorização do equipamento de maior representatividade do subsistema piloto, ocorrendo a análise das especificações do projeto do equipamento, sendo coletados seus tempos até a falha e analisados através do uso do software ProConf 2000, para obter as funções de confiabilidade e MTTR. Os dados obtidos com o referido software são baseados nos parâmetros de confiabilidade fornecidos pelo software.
- Etapa 6 – Análise FMEA: identificação e diagnóstico dos modos de falhas potenciais no equipamento teste, além da obtenção dos modos de falhas serão caracterizados nesta etapa à causa das falhas e seus efeitos, bem como as suas consequências. Nesta etapa também, determinou-se dos controles atuais de detecção que estão implementados no processo atual. Posteriormente foram definidos os índices de severidade, ocorrência e detecção de cada modo de falha. Após definição dos valores de severidade, ocorrência e detecção foi calculado NPR (Número de Prioridade de Risco), sendo produto da multiplicação de cada um dos critérios: severidade x ocorrência x detecção. Para a análise FMEA, a planilha FMEA aplicada a MCC, foi elaborada para cada modo de falha funcional, a qual é identificada na coluna 1 da planilha com as demais, no cabeçalho há o preenchimento das informações padrões para identificação da FMEA. Como principal fonte de informações para determinar os modos de falhas do equipamento foi utilizada: (i) histórico obtidos do equipamento e (ii) experiência obtidas da equipe MCC e operadores do equipamento. Para avaliações de severidade, ocorrência e detecção foram utilizadas as tabelas disponíveis pela literatura para cada um destes, disponíveis no Anexo E, disponíveis no modelo de Helman e Andrey, (1995), exceto para o índice de severidade, adaptado pela autora do modelo de manual da *Ford Motor Company* onde os índices de cada critério variam de 1 a 10 separados de acordo com cada evento de observação disposto na tabela para análise. Em relação à avaliação ao NPR, o mesmo será calculado para cada modo de falha. No sentido de finalizar o FMEA, após serem definidos os valores de NPR, foi definida a sistemática de ações de priorização dos modos de falhas de forma pró-ativa para elaboração de trabalhos futuros.
- Etapa 7 – Seleção das tarefas proativas de manutenção: nesta etapa foram selecionadas as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o equipamento no intuito de

determinar estratégias de manutenção na lógica da MCC, baseados nas ferramentas, árvore lógica de decisão adaptada de Smith (1993) apud Zaions (2003 p.80) e o diagrama de decisão da MCC de Moubrey (2000) apud Silva e Gama (2013), sendo utilizada uma planilha de seleção de tarefas onde sua forma, análise e preenchimento sugeridas por Zaions (2003 p.83), foram adotadas no presente trabalho, no intuito de selecionar a tarefa mais eficaz que poderá atender ao tipo de manutenção aplicável ao equipamento, bem como a definição da frequência prevista de realização desta.

- Etapa 8 - Plano de Manutenção MCC: a última etapa desta pesquisa se remete a elaboração do Plano da MCC, onde este relaciona as tarefas de manutenção definidas para cada modo de falha, a periodicidade das tarefas e a definição do responsável pela tarefa.

Em relação à avaliação de resultados de cada etapa deste trabalho o mesmo se deu através de reuniões com os gestores da manutenção sendo o critério de avanço para a próxima etapa o consenso de aprovação de todos os envolvidos no acompanhamento da MCC na empresa.

5 PESQUISA-AÇÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O estudo e aplicação da metodologia MCC, descrito no subitem 4,2 do capítulo 4, deste trabalho, foi realizada em uma empresa do setor sucroenergético localizada no Mato Grosso do Sul.

A mesma é atuante no setor sucroenergético desde, 2009, cujo seu principal produto de fabricação é o álcool hidratado carburante, etanol, tendo o seu principal destino o abastecimento de motores veiculares bicomustíveis, a mesma possui uma capacidade instalada de 5000 ton/dia de moagem da cana, contando com um quadro de 77 funcionários em sua área industrial, sendo a área de concentração deste estudo a de manutenção industrial.

Em sua planta fabril, a empresa gera sua própria energia para consumo através do bagaço da cana, resíduo da extração de açúcar da cana, bem como o uso cíclico do processo de utilização da água, recebendo no ano de 2014 o Selo Verde (selo ambiental), certificado pelo programa PSE, Programa Senai de Ecoeficiência.

5.2 BREVE DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

O etanol é produzido em 3 macroetapas distintas, a etapa 1 consiste na preparação da cana-de-açúcar, neste momento, a cana passa pelo processo de peneiração, onde é retirada a terra agregada à mesma, o processo de peneiração é composto por 02 (dois) tipos de peneiras, a primeira é denominada peneira rotativa, e a segunda, denominada de peneira de tela, após, a cana é conduzida para os picadores (1) e (2), e ao desfibrador, no que consiste basicamente em romper a estrutura do caule da mesma desagregando os tecidos fibrosos, a cana desfibrada é transportada por uma esteira levatória e passa pelo separador magnético, a fim de separar pedaços de ferros e metais, que por ventura possam estar misturados à cana.

A etapa 02 remete-se à extração do açúcar, por meio de difusão onde o caldo misto da cana, denominado mosto, é extraído e enviado para o pré-evaporador, para aumentar a

concentração deste caldo, em teor de Brix, o mosto que sai do pré-evaporador é enviado para o processo de fermentação onde irá ocorrer a fermentação etanólica.

A etapa 03 define-se como produção do álcool, destilação, onde após a fermentação, o meio fermentado é encaminhado para um tanque-pulmão, que alimenta a seção de separação, centrifugação, onde são produzidas duas frações, a primeira denominada vinho, que segue para um tanque-pulmão denominado de dorna volante, que alimenta a destilaria, com um teor alcoólico na faixa de 6,0 a 10 % em volume, e a segunda denominado de fermento, o controle da vazão de entrada e saída de vinho na volante é efetuado através de um comando lógico programável (CLP).

O álcool então é liberado pelo CLP e passa nas colunas de destilação (A), e coluna auxiliar (B2) caso necessário, no qual entra na mesma a uma temperatura média de 35°C e é aquecido a 75°C por um aquecedor (E), em contracorrente com os vapores do topo da coluna de retificação (B) e vai para os trocadores K, que proporcionam o enriquecimento do vapor produzido e o esgotamento do líquido destilado, neste estágio são liberados dois tipos de vapores, o vapor vegetal (V1) e o vapor de álcool em forma de flegma, onde o último sai do topo da coluna A e entra na coluna B, o mesmo é resfriado e condensado nos condensadores, principal e auxiliar, formando o álcool hidratado carburante com o grau de INPM entre 92,6 a 93,1, conforme a especificação, em média, produto final, com saída no topo da coluna B, na coluna A entra o vapor vegetal e sai o líquido (vinhaça) para o tanque de vinhaça.

Nas colunas de vapores há instrumentos de controle de vazão, temperatura e pressão, nestas colunas também a complementação de equipamentos como: condensadores, refervedores, trocadores J e resfriadores. A Figura 3 mostra o fluxograma do processo produtivo em termos de macroprocesso.

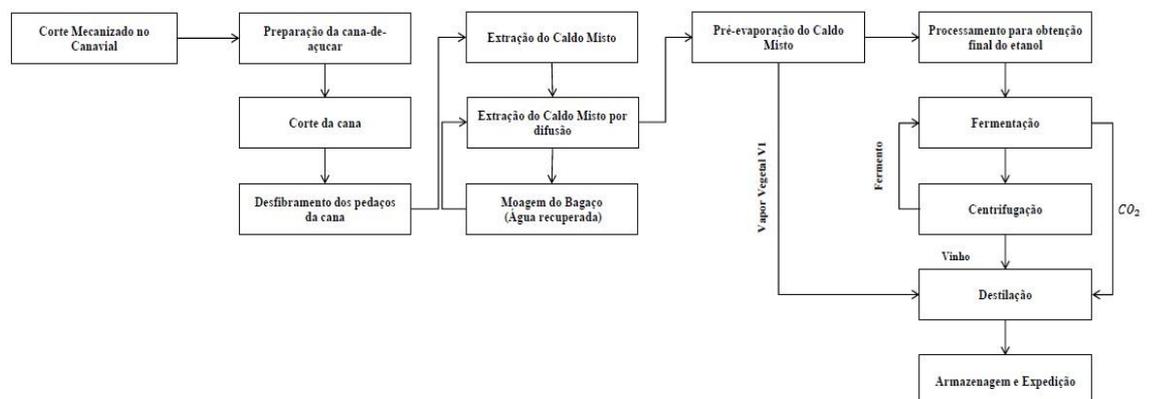


Figura 3 – Fluxograma do sistema de produção do etanol (macroprocesso).
Fonte: Elaborado pela Autora.

5.3 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO ATUAL NA EMPRESA

Em relação ao gerenciamento da manutenção, a empresa adota um sistema de manutenção ainda de características tradicionais, ou seja, a manutenção ainda é centralizada, sendo o setor de manutenção submetido a ações tomadas pela gerência da fábrica, sendo esta gerência restritamente responsável pelas ações de liberação de ordens de serviços da manutenção.

O setor de manutenção industrial inclui 4 (quatro) funcionários gerenciais sendo estes: gerente geral da unidade, dois encarregados da manutenção, um no turno A e outro no turno B e o encarregado de elétrica e automação e controle.

O organograma geral do setor manutenção de toda a fábrica é ilustrada na Figura 4, em termos de áreas de concentração do fluxo da manutenção.

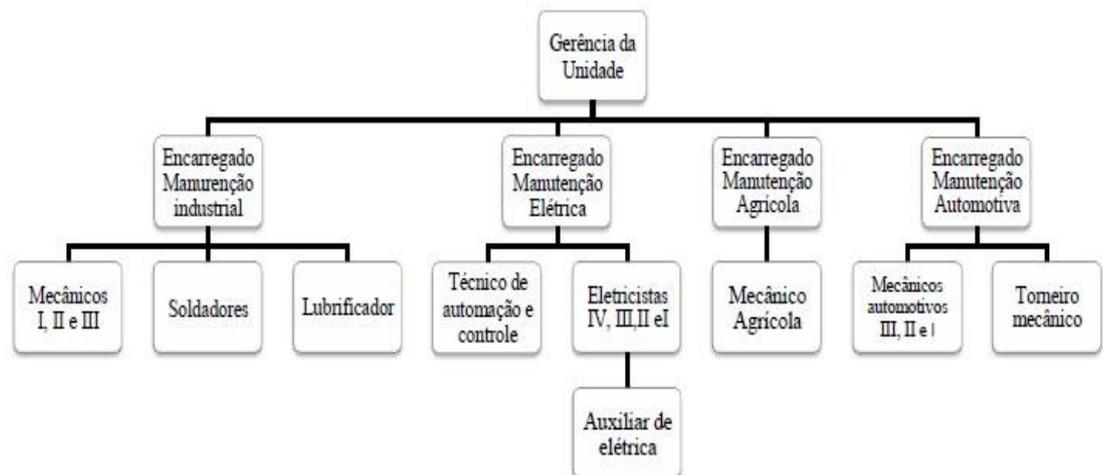


Figura 4– Organograma do setor de manutenção da empresa.

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 4, para cada setor da manutenção existe o funcionário denominado de encarregado, onde este é responsável pelas requisições de peças no almoxarifado e recebe as O.S diretamente da gerência da fábrica, ficando responsável por repassar estas informações a sua equipe de manutenção, abaixo do encarregado, encontram-se mecânicos dos níveis III a I, soldadores, eletricistas e auxiliares de eletricistas, respectivamente, há também um técnico de automação e controle, um torneiro mecânico e um lubrificador este último atuante apenas no turno B.

Com bases em informações coletadas *in loco* torna-se necessário o estudo dos programas de gerenciamento da manutenção aplicados à empresa, a fim de embasar a escolha de tarefas efetivas e eficazes para a estruturação do plano de manutenção.

A afirmação acima se dá pelo fato de no setor de manutenção não há uma área destinada ao planejamento e controle da manutenção (PCM) o que compromete parcialmente as tomadas de decisões vinculadas à manutenção, ocasionados pela não padronização do fluxo de informação entre cada área de manutenção, em questões de estoque e demanda de falhas, nem a disposição de um sistema informatizado para orientação destas decisões, onde os controles de O.S ordens de serviços e requisições de peças no almoxarifado, ainda são efetuados a base do papel, onde os mesmos não são documentados de forma que tais informações sejam compartilhadas entre as áreas, ficando restritivamente estas informações em cada sistema individual da manutenção, ou seja, há controle das falhas, mas não há o gerenciamento efetivo destas.

A partir de informações coletadas dos líderes dos setores foram identificadas duas principais formas de gerenciamento da manutenção, sendo estas: gerenciamento da manutenção preventiva e o gerenciamento da manutenção preditiva.

O gerenciamento da manutenção preventiva é realizado através das seguintes tarefas: (i) apontamentos da mão de obra; (ii) registro de ocorrências, controle de paradas, sejam elas por consequências de quebra, parada, queima, defeito, vazamento de óleo, entre outros; (iii) inspeção de equipamentos; (iv) e cronograma de paradas no período entressafras.

O apontamento da mão de obra consiste em registrar todos os serviços realizados pela manutenção diariamente, permitindo a disposição de informações de custo, materiais utilizados, tempo de reparo do equipamento, manutenção corretiva ou manutenção preventiva, porém grande parte da manutenção não se faz uso desta ferramenta ou fazem uso desta de forma incompleta, ocorrendo o não preenchimento de todos os campos, tal que a mesma acaba sendo utilizada com maior frequência pela área de manutenção da elétrica, o que compromete de forma significativa o controle de informações da manutenção, que possam ser empregadas em projetos de melhorias nos equipamentos em questões de confiabilidade e manutenibilidade.

Os controles de paradas são registrados pelos operadores a cada troca de turno, de forma descritiva, ou seja, o operador descreve a sua percepção do equipamento em seu turno, se o mesmo estava estável ou instável, sua capacidade na hora de entrega de turno, ou até se nenhuma anormalidade ocorreu durante o turno, não existe uma forma padrão para que o

operador transcreva as condições no equipamento, estando livre para informar as operações ocorridas da maneira que lhe convém, em um caderno, ata de registro, o que pode subtender certas informações repassadas de forma informal, à ambiguidade de um registro ou a não compreensão do mesmo em relação a um determinado equipamento, cabe ressaltar que este registro de paradas não são aplicados a todos os equipamentos, limitando-se apenas aos equipamentos considerados críticos para a empresa como, o controle de parada do difusor e o controle da fermentação/centrifugação.

A inspeção de equipamentos se resume em verificações diárias feitas *in loco*, pelo mecânico, sendo esta atividade denominada de “rota”, onde é determinado um caminho crítico de inspeção da manutenção, em que há averiguações em equipamentos críticos e potencialmente críticos do processo, definidos pela gerencia da manutenção com base na vivência do chão de fábrica e a importância destes equipamentos para o processo logo, o mecânico com uso de itens instrumentais de controle, ou por meio de contato manual e visual, é responsável por analisar princípios de avarias, desgastes por corrosão, deslizamento ou contato, vazamentos, temperatura, pressão e vazão. O resultado desta inspeção não é registrado em nenhum formulário ou documento formal.

O planejamento da manutenção preventiva, da forma em que conhecemos na literatura, é empregado de forma efetiva na empresa, somente no período denominado entressafras que ocorre geralmente entre os meses de janeiro a abril, onde é parado o processo em todo o parque industrial, e se aplica a manutenção preventiva e corretiva, este período também é reservado para adaptações no processo e equipamentos através de projetos de melhoria e rearranjo de layout, caso seja necessário, e métodos de investigação de falhas por intermédio de técnicas preditivas como análise das vibrações, análise dos estados das superfícies, termografia e análise estrutural.

As análises preditivas nos equipamentos são feitas de forma terceirizada e as informações recolhidas são registradas em uma ficha, possibilitando ao responsável pelo gerenciamento da manutenção tê-las em mãos, para análise e planejamento das ações recomendadas ao equipamento.

5.4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

O desenvolvimento do estudo da Metodologia Centrada em Confiabilidade na indústria encontra-se descritos na sequência cronológica de atividades propostas conforme os procedimentos adotados apresentados no presente trabalho.

5.4.1 Preparação do estudo e coleta de dados

A primeira etapa da análise MCC constitui-se na escolha e formação da equipe da MCC por colaboradores da empresa, de diversas áreas de conhecimento que tenham relações direta ou indiretamente com a manutenção industrial da empresa, bem como possuir experiência no funcionamento e manutenção das máquinas e equipamentos do parque industrial (operadores). Neste estágio também ocorreram coletas de dados através de observações *in loco*, reuniões com os líderes da manutenção e acompanhamento das atividades rotineiras deste setor, definiu-se então o perfil atual da manutenção na empresa e as ferramentas aplicáveis de confiabilidade da manutenção a serem utilizadas no presente trabalho que se adéquam a realidade atual da empresa.

Deste modo a equipe da MCC para este trabalho é formada por: gerente geral da unidade, encarregado da manutenção industrial, encarregado da manutenção elétrica, 02 (dois) eletricitas, 01 (um) técnico de automação e controle, encarregado de produção dos setores destilaria, fermentação e centrifugação, 01 mecânico industrial, encarregado de produção dos setores, difusor e moenda, 01 destilador, 02 operadores da centrífuga, totalizando um time de colaboradores para o presente estudo de 12 pessoas.

5.4.2 Identificação dos sistemas e subsistemas da empresa

Ainda em consideração a fase da preparação do estudo e planejamento da MCC na industrial de etanol, Segundo Moubray (2000) apud Silva e Gama (2013), o mesmo afirma que esta etapa se refere à determinação do nível de aplicação da MCC, se esta aplicação

abrange toda a planta industrial, sistemas e subsistemas, itens físicos ou apenas componentes, sendo esta análise fundamental para a etapa de planejamento da MCC, mediante a este trabalho onde o enfoque é a aplicação da MCC em um equipamento crítico do processo considerado ótimo para receber esta aplicação e visto que até no momento não havia uma escolha concreta do mesmo, analisou-se o processo produtivo de obtenção do álcool hidratado carburante de acordo com as recomendações de autores em seus estudos onde foi decidido definir estes sistemas e subsistemas do processo, em fase macro, com um propósito de se determinar este ativo de forma assertiva pelos critérios de criticidade, onde através de técnicas de estratificação dos dados pode-se chegar ao equipamento crítico ideal e deste modo analisar o seu respectivo sistema e componentes, para a aplicação da MCC, que permitam uma sistemática de priorização de análise de falhas, sendo esta dissertada na Etapa 3 deste trabalho,

Desta forma, a fábrica foi dividida em quatro sistemas funcionais, a Figura 5 apresenta os sistemas e subsistemas funcionais identificados. Cada sistema apresenta um agrupamento de subsistemas funcionais no qual é associado à função principal deste sistema. A configuração usada para ilustrar os sistemas e subsistemas na fábrica compete em relacionar o processo produtivo da empresa (1) às atividades macro do processo de obtenção do álcool, neste representada por sistemas funcionais (2) e os respectivos subsistemas funcionais (3).

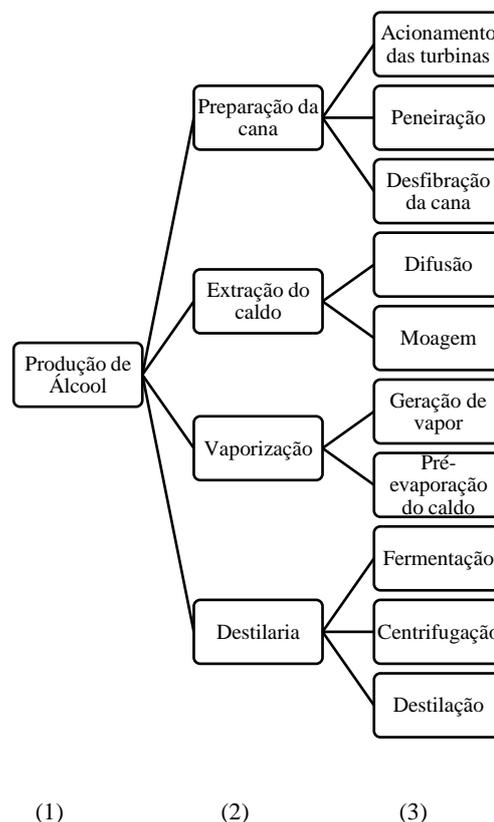


Figura 5 – Sistemas e Subsistemas Funcionais para a empresa.
Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.3 Seleção dos equipamentos críticos do processo

A seleção do subsistema ótimo para a escolha de um equipamento para a aplicação da MCC baseou-se na priorização dos índices de criticidade dos itens físicos da fábrica, para isto foi realizado o reconhecimento dos equipamentos críticos do processo, e em uma planilha, ilustrada no Apêndice B, foi preenchida a relação destes itens físicos com as consequências das falhas funcionais no processo, associando-as à segurança e meio ambiente, qualidade e produtividade, disponibilidade, operacional, ocorrência de quebra e manutenibilidade com o uso do recurso do software Universo Sigma.

O preenchimento da planilha, disponível no software, foi realizado de forma subjetiva pela equipe, ou seja, pela opinião especializada e experiência do colaborador com o equipamento em análise, sendo o ponto de partida a resposta a uma única pergunta, A parada repentina do equipamento provoca?

A resposta a esta pergunta é associada a uma série de fatores que leva a um processo decisório lógico por meio de um diagrama de criticidade para a escolha do tipo de manutenção adequada e o valor de criticidade.

A empresa não possui nenhuma base de classificação dos equipamentos sendo o único critério utilizado de forma determinística o grau de importância daquele equipamento para o processo produtivo.

Mediante a esta informação torna-se necessário o estabelecimento de uma “regra” para identificar e classificar estes equipamentos críticos do processo, que devem ter um acompanhamento especial da manutenção, sendo estes os primeiros itens a ser acompanhado pela MCC, um controle efetivo das tarefas de manutenção nestes equipamentos, segundo Kardec e Nascif, (2009) deverá aumentar a confiabilidade e disponibilidade deste equipamento, bem como a sua manutenibilidade, o que pode reduzir significativamente os custos operacionais do equipamento.

Portanto, para auxiliar na determinação dos equipamentos críticos do processo, adotou-se um critério específico de classificação ABC dos equipamentos, permitindo avaliar a criticidade dos ativos em todo o parque industrial, o critério utilizado para classificar a

criticidade dos equipamentos na empresa, é descrito a seguir (JIPM, 1995; TAVARES, 1999; FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009):

- Máquinas e equipamentos críticos do processo (Classificação A): são equipamentos que cuja parada repentina impacta diretamente o processo produtivo, interrompendo o mesmo, as tarefas de manutenção adequadas para os mesmos são: manutenção preditiva e preventiva, análises de confiabilidade, MCC e FMEA.
- Máquinas e equipamentos potencialmente críticos do processo (Classificação B): são equipamentos cuja parada repentina interfere no processo produtivo, de forma parcialmente, as tarefas de manutenção adequadas para os mesmos são: manutenção preditiva e preventiva e análises de falhas.
- Máquinas e equipamentos não críticos do processo (Classificação C): são equipamentos cuja parada repentina não interfere no processo produtivo, as tarefas de manutenção adequadas para os mesmos são: manutenção corretiva, e/ou preventiva, e atividades no monitoramento das falhas.

Seguindo esta linha, como o resultado da análise da planilha de identificação dos itens físicos críticos do processo associando a um diagrama de criticidade, em Anexo A, podem-se definir os itens críticos da fábrica, sua classificação e o tipo de manutenção adequada para cada item.

Cabe enfatizar que o tipo de manutenção adequada definida nesta etapa, consiste apenas para a identificação de equipamentos que possam aceitar mais facilmente a implantação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade, visto que a mesma para um gerenciamento mais efetivo exige o uso de tarefas de característica preventivas logo um equipamento que necessite apenas do uso de manutenção corretiva, não pode ser considerado como ideal para a implantação da MCC. Assim o Apêndice A ilustra o resumo da referida análise.

O Apêndice A, permite visualizar os itens físicos de acordo com a sua classificação dos índices de criticidade, servindo de base para a decisão de priorização dos equipamentos e seleção do sistema e subsistema para objetivo de estudo, etapa 2 do processo de elaboração da MCC.

Em relação à priorização por análise de criticidade, para esta etapa optou-se pelo uso do Gráfico de Pareto, começando a priorizar em análise macro, frequência de itens físicos críticos por sistemas, sendo esta análise refinada até que se chegue ao subsistema ideal (Gráfico 1) e (Gráfico 2).

O Gráfico 1, expressa o resumo da análise macro obtida pela estratificação do Quadro 2. Nesta fase da análise é demonstrado a importância e o impacto dos itens físicos críticos no processo de obtenção do etanol, sendo que a maioria, 61% da frequência dos itens críticos encontram-se no sistema destilaria, onde tal sistema é considerado pela gerência de produção como um dos mais importantes do processo, reunindo subprocessos vitais para a empresa, como em questões de qualidade e produtividade sendo este responsável por garantir que as especificações do produto final sejam atendidas, portanto a confiabilidade deste sistema sem dúvidas interfere diretamente na eficiência do processo de obtenção do etanol.

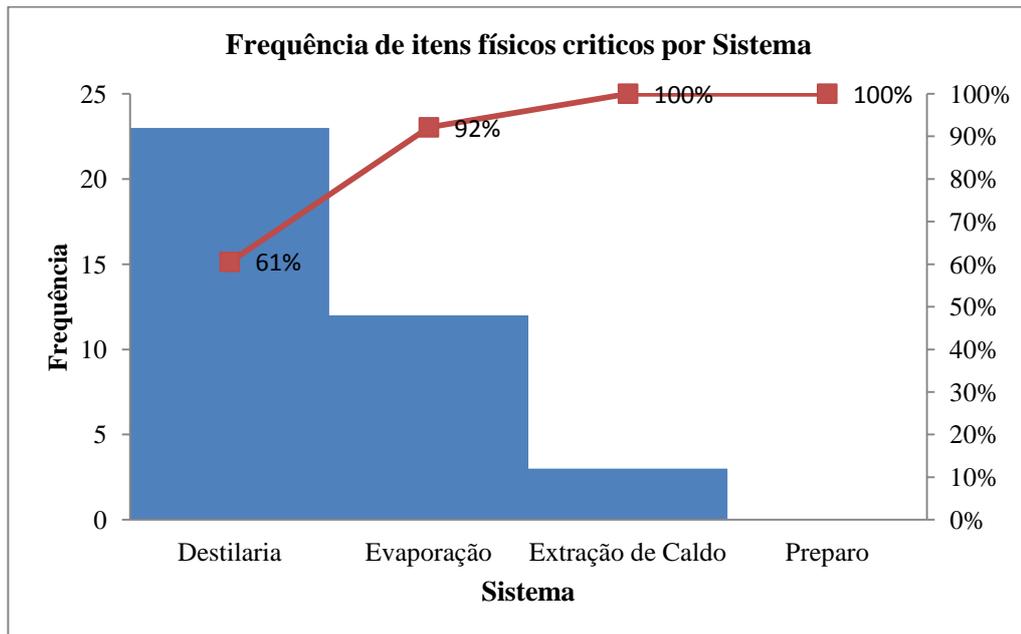


Gráfico 1 – Gráfico de Pareto para frequência de itens físicos críticos por Sistema.

Fonte: Elaborada pela Autora

Com base na análise dos sistemas, optou-se por estratificar a frequência dos itens físicos de classificação A no sistema destilaria tendo em foco a identificação do subsistema ótimo, sendo o referido subsistema o escolhido o primeiro a receber a análise MCC em um de seus equipamentos, sendo representado no Gráfico 2 a seguir.

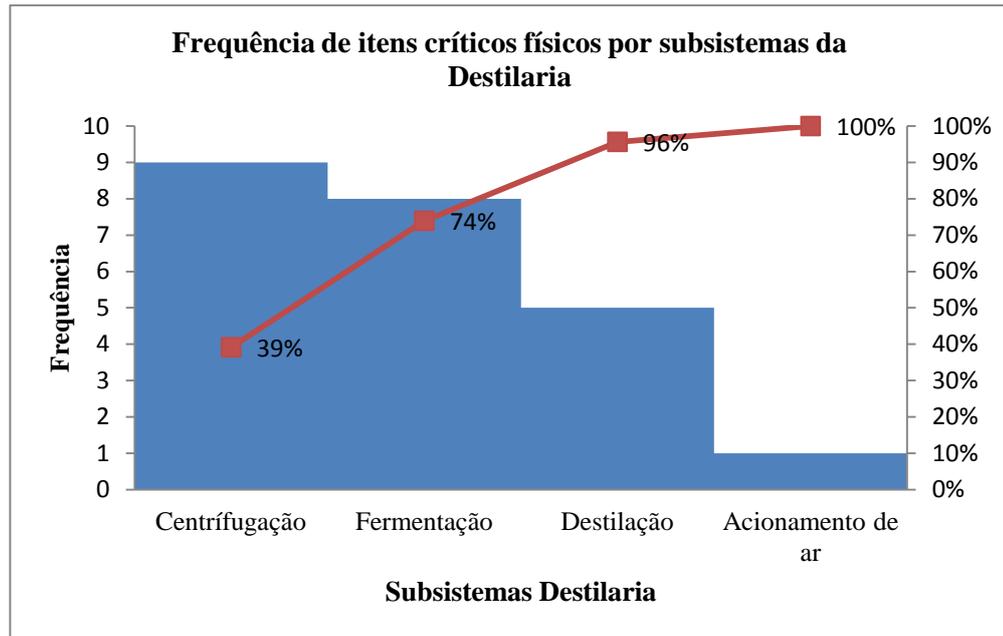


Gráfico 2 – Frequência de itens físicos críticos em suas concentrações por subsistemas sendo agrupados no sistema destilaria da empresa.
Fonte: Elaborada pela Autora.

Ao se estratificar a frequência dos itens físicos por análise dos subsistemas observa-se que há uma pequena diferença na ocorrência dos referidos itens entre os subsistemas centrifugação e fermentação, representando 39% e 35%, respectivamente, o gráfico evidencia que o subsistema centrifugação representa a maior ocorrência de itens físicos, este fato se dá pela análise dos equipamentos pertencentes a este subsistema, onde se constatou que 100% dos equipamentos do mesmo, possuem criticidade A, o que se remete a grande importância deste subsistema ao processo produtivo.

Neste contexto, foi escolhido o subsistema funcional centrifugação, escolha esta com base na priorização dos itens críticos do processo demonstrado neste mesmo subitem do trabalho, a seleção deste setor da fábrica deveu-se por o sistema destilaria e o subsistema centrifugação apresentam o maior número de equipamentos críticos do processo atendendo os critérios de priorização do sistema e subsistema adotados neste trabalho. Além disso, o subsistema centrifugação detém de um controle de registro de falhas, o que permitirá escolher o equipamento teste pela análise das falhas bem como o uso de técnicas preventivas e preditivas em seus equipamentos, o que se constitui em um ótimo subsistema piloto para a proposta da MCC.

Desta forma, os equipamentos que compõem o subsistema centrifugação, serão conduzidos às etapas seguintes da MCC, sendo os demais equipamentos pertencentes aos subsistemas da destilaria descartados da análise.

5.4.4 Identificação das funções e falhas funcionais

Em termos de confiabilidade de equipamento, o próximo passo deste estudo visa, definir as funções e padrões de desempenho dos equipamentos do subsistema Centrifugação que estabelecerá a base de trabalho da MCC.

Para a realização desta etapa 4, no intuito de conhecer as relação dos principais itens físicos, de modo a iniciar a construção de uma base sólida de documentações, informações, para a implementação da MCC, identificou-se os principais equipamentos do subsistema Centrifugação sendo estes: bombas centrífugas INI, Centrífuga (1) DX309, Centrífuga (2) DX309, Centrífuga (3) SM100, Centrífuga (4) DX309, Centrífuga (5) SCM95, Cubas de tratamento e tanque pulmão, desta forma houve uma descrição da operação do subsistema, em Apêndice C, elaborado juntamente com o auxílio da opinião especializada do técnico de automação e controle, responsável pelo monitoramento e controle dos equipamentos do subsistema centrifugação, o que possibilitou identificar um conjunto de informações referentes às funções e parâmetros dando partida na análise específica de implantação da MCC.

Com base na planilha de descrição de operações, para dar sequência nas atividades, e para termos de controle dos itens físicos envolvidos no subsistema centrifugação, foi criada uma lista de itens físicos, sendo atribuídos códigos de identificação para cada item físico, onde foram distribuídos em duas nomenclaturas propostas por Zaions, (2003 p.132), a de itens físicos, iniciados com a sigla IF, e a de itens de controle, iniciados com a sigla IC, em Anexo B.

Com base em dados históricos de controle da centrifugação, preenchidas a cada troca de turno, pelos operadores das centrífugas, bem como em relatos da supervisão operacional do subsistema, e a gerência da fábrica, definiu-se as funções principais e secundárias do subsistema centrifugação, onde foram avaliadas com vistas à sua caracterização no contexto operacional, com base nas informações obtidas nas etapas anteriores do presente trabalho.

Deste modo, foram identificadas as funções principais e secundárias do subsistema centrifugação, em especificação as centrífugas, equipamento teste da MCC, definido no item 5.4.5 deste trabalho, logo, elaborou-se o Quadro 2. Cabe salientar que a análise das funções e falhas funcionais se dá com enfoque para as centrífugas, pois as mesmas são os únicos

equipamentos que apresentam falhas constantes inseridos no subsistema centrifugação, refinando-se assim a escolha de uma delas como equipamento teste apresentados na etapa 4.

Quadro 2 – Determinação das funções do subsistema centrifugação

Funções do Subsistema B – Baseados nas Centrifugas	
Funções Principais	Funções Secundárias
1. Produzir duas frações resultantes do meio fermentado. 2. Garantir que o vinho centrifugado contenha a concentração de fermento inferior a 6,0% em volume.	1. Garantir a homogeneização do fermento. 2. O líquido em processo deve ser alimentado continuamente no centro do rotor e distribuído para a periferia deste por meio de um cone de distribuição. 3. Armazenar temporariamente o meio fermentado e garantir a transferência do mesmo a seção de separação. 4. Conter o fluxo de fermento para a seção de vinho. 5. Regular o diferencial de pressão a 0,25 Kgf/cm ² entre a linha de entrada e saída do vinho 6. Indicar o nível de vinho na entrada do tanque pulmão 7. Indicar o valor de corrente elétrica operante no equipamento, para garantir a capacidade e a produtividade do processo de centrifugação.

Fonte: Autora deste trabalho.

Para Helman e Andrey, (1995), a compreensão destas funções nos permite entender as funções e propósito desta operação em que os equipamentos fabris devem cumprir e nos possibilita identificar os modos de falhas ao relacioná-los as condições operacionais determinando qual padrão de desempenho do mesmo deve ser mantido durante o seu ciclo de vida operacional. Desse modo, com o auxílio do gerente de produção e dos próprios operadores das máquinas do subsistema centrifugação, permitiu que tais funções fossem identificadas com clareza, incluindo assim as funções primárias e secundárias.

Seguinte à definição das funções, passou-se para a análise das falhas funcionais, nesta etapa foram definidas as falhas funcionais evidentes com base na opinião de operadores

e mecânicos do subsistema centrifugação e o histórico de dados de falhas do mesmo em comparação a não conformidade com os padrões de desempenho requeridos pelos mesmos.

O quadro 3 apresenta o resumo da identificação das falhas funcionais do subsistema em relação a suas funções principais.

Quadro 3- Falhas funcionais do subsistema Centrifugação.

Falhas funcionais evidentes do subsistema Centrifugação – Baseados nas Centrífugas	
1.	Não produzir duas frações resultantes do meio fermentado.
2.	Desempenho reduzido da máquina para a separação do fermento presente no vinho, conforme as especificações, por variáveis diversas.

Fonte: Elaborado pela autora

A referida análise das falhas funcionais ilustra duas falhas sendo estas consideradas pela autora deste trabalho como as falhas mais frequentes no subsistema em relação ao desempenho dos equipamentos, sendo assim as mesmas irão ser utilizadas para as próximas etapas do trabalho.

5.4.5 Escolha do equipamento teste

Para Flogliatto e Ribeiro, (2009), outra informação de grande importância para a análise MCC é saber a confiabilidade esperada do equipamento, sendo esta calculada através do uso de indicadores de confiabilidade da manutenção, deste modo, para a escolha do equipamento teste o mesmo foi escolhido em termos de confiabilidade industrial, ou seja, usou-se como critério de avaliação o indicador de confiabilidade MTTF, tempo médio para falhas, nos equipamentos críticos do subsistema centrifugação, onde se considerou $t=0$, correspondente à data de 22/04/2015, data ao qual se deu início a safra 2015/2016, sendo todos os itens físicos revisados e/ou reformados, o resumo da tabulação dos dados usados no presente trabalho referentes a falhas dos equipamentos do subsistema em estudo, no período compreendido de 22/04/2015 a 06/01/2016, é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo da análise de dados coletados referentes às falhas nos equipamentos do sistema destilação.

Número de falhas por equipamento	
Sistema Destilaria	Abril 2015/Janeiro 2016
Item Físico	Nº de falhas
IF – 01	0
IF – 02	0
IF – 03	0
IF – 04	2
IF – 05	4
IF – 06	10
IF – 07	21
IF – 08	38
IF – 09	14
IF – 10	10
IF – 12	1
IF – 13	0
IF – 14	0
IF – 15	0
IF – 16	0
IF – 17	1
IF – 18	0
IF – 19	0
IF – 20	0
IF – 21	0
IF – 22	0
IC – 01	0
IC – 02	0
IC – 03	1
IC – 04	0
IC – 05	0
IC – 06	0
IC – 07	0

Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar o Quadro 4, percebe-se que a grande concentração de modos de falhas no período de coleta, se dá nos itens físico IF – 08; IF -07 e IF – 09, Centrífuga (3) SM100, Centrífuga (2) DX309, Centrífuga (5) SCM 95, respectivamente.

As falhas referentes ao sistema destilaria e ao subsistema centrifugação, do período em análise, de forma detalhada, com informações do modo da falha, e o turno em que a mesma ocorreu disponível no Apêndice D, onde é a principal fonte de dados das falhas

evidentes associadas aos mesmos, servindo como base da análise dos modos de falhas da planilha FMEA.

Deste modo, escolheu-se como equipamento teste, para a continuidade da implementação da MCC, o item físico IF- 08 Centrífuga (3) SM100, a escolha da centrífuga deu-se por tais fatores: (i) apresentar o maior número de falhas no período em análise, o que ocasiona uma redução na disponibilidade do equipamento, (ii) acarreta em uma redução na velocidade de produção caso o equipamento venha a falhar, (iii) dentre as centrífugas é a que obtém melhor rendimento em termo de capacidade do processo, (iv) sofreu adaptações do seu projeto original.

A centrífuga SM 100 é considerada pelos operadores como um equipamento ótimo para dar início ao processo de implantação da MCC, devido aos fatores já mencionados neste trabalho, a mesma é a de maior capacidade operacional e opera 24 horas por dia, o que se faz a necessidade de um programa de manutenção eficaz, a mesma sofreu alterações em seu projeto, reprojeto, para aumento da eficiência operacional, logo a análise FMEA torna-se crucial, para o desenvolvimento da MCC neste equipamento, pois através dela poderemos identificar todas as falhas, de características evidentes ou ocultas não conhecidas do equipamento, que possam ocorrer devido a suas adaptações.

5.4.5.1 Breve descrição da Centrífuga SM 100

O equipamento teste consiste em uma estrutura de ferro fundido, seu fabricante é a Conge, e possui capacidade de 100 m³/min e motor rotação de 1775 rpm, da marca WEG com potência de 100 CV, corrente 245 A e IR= 54, a parte inferior (cárter) contem todo o sistema de transmissão composto por um eixo horizontal e um vertical. O acionamento é feito por motor elétrico acoplado juntamente com a centrífuga sobre uma base.

Devido a sua alta inércia a Centrífuga SM 100 é acionada por um motor de carcaça, com partida em 5 minutos e uma tensão de alimentação de 65%.

A ligação do eixo vertical ao eixo horizontal é feita por um sistema coroa-pinhão, onde este é lubrificado por banho de óleo advindo do conjunto cárter, é no eixo vertical que se encontra montado o conjunto rotor, para um sistema de separação e descarga com a finalidade de se garantir a separação do meio fermentado em duas frações, contendo componentes como

o distribuidor e pratos de separação, sobre a tampa do rotor estão montados um tubo de alimentação da centrífuga com o meio fermentado a ser centrifugado e as saídas da vinho e fermento já centrifugados.

O funcionamento consiste em basicamente realizar a condição de separação, onde a mesma é realizada por intermédio de um rotor com boquilhas de descarga, o vinho em processo é alimentado constantemente no rotor e, por conseguinte, é distribuído para a parte inferior deste, por meio de um cone de distribuição, distribuidor ocasionada por uma alta rotação, devido à força centrífuga, forçando o fluido a passar pelos pratos de separação, separando-o em duas frações, uma em fase pesada (fermento) e outra em fase leve (vinho).

O fermento com pequena concentração de vinho é forçado para fora do rotor, através desta força centrífuga aplicada, saindo pelas boquilhas de descarga, bicos de saída superiores, o vinho representado pela fase leve, também sofre uma força rotacional e é conduzido aos bicos de saídas ovais, localizados próximo ao rotor, sendo assim coletado em um tubo de alimentação da volante.

5.4.5.2 Determinação dos sistemas e subsistemas do equipamento

Com o refinamento da análise da MCC para um equipamento crítico do processo, faz-se a necessidade de se conhecer os subsistemas e sistemas e os componentes que serão alvo deste estudo.

Deste modo, os sistemas e subsistemas da centrífuga SM100 foram identificados de acordo com o manual do fornecedor da mesma, deste modo foram definidos três sistemas (03): sistema de separação e descarga, sistema coroa-pinhão e sistema de amortecimento. Para utilização prática deste trabalho, foi escolhido o sistema de separação e descarga, pois o é responsável pela alimentação, separação e distribuição do vinho, onde sua parada é considerada crítica, cabe ressaltar que o sistema é composto pelo conjunto rotor, este conjunto é o que apresenta uma maior incidência de falhas para o equipamento. A Figura 6 ilustra o sistema de separação e descarga (1), seus subsistemas (2) e componentes (3).

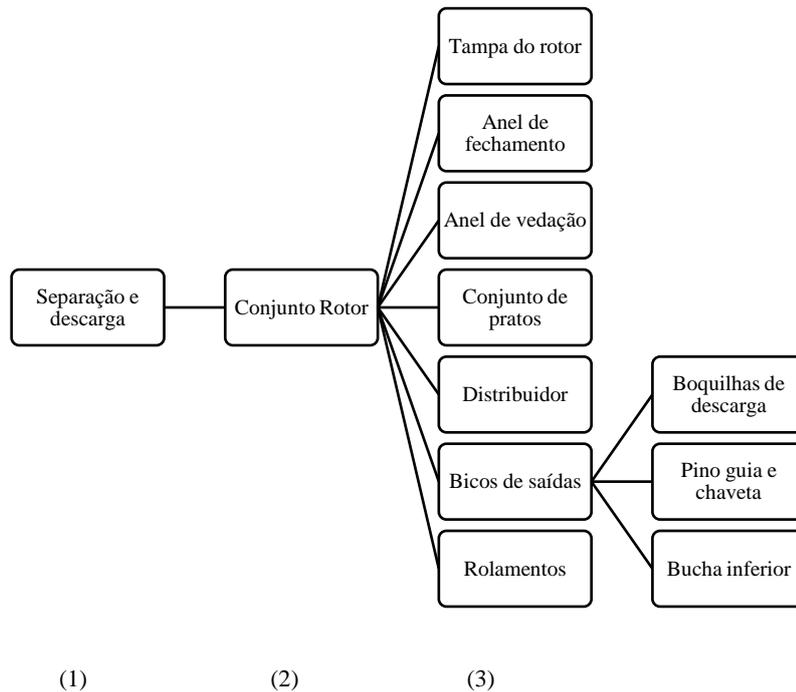


Figura 6 – Sistema, subsistema e componentes (SSCs) da Centrífuga SM100.
Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.5.3 Cálculo da confiabilidade esperada

Prosseguindo na etapa 5 do presente trabalho, o próximo passo consiste na definição da confiabilidade esperada do equipamento.

Neste contexto, com o equipamento teste já escolhido, através dos dados coletados no Apêndice D, e com o auxílio do Software ProConf 2000, a forma escolhida de quantificar a confiabilidade do equipamento foi através do cálculo do indicador MTTF, tempo médio até falhas.

Deste modo, os dados foram lançados na planilha, denominada Dados de Falha, onde os dados de tempo até a falha dos itens não reparáveis foram inseridos em ordem cronológica em que foi coletado, para uma maior confiabilidade dos dados, o intervalo de confiança é de 95% e parâmetro de localização igual à zero.

O Software ProConf2000 possui três janelas de funções: (i) Dados; (ii) Análise; e (iii) calculadora, sendo na janela de dados onde foram preenchidas as informações básicas da análise de confiabilidade como o nível de confiabilidade desejada, 95% dos dados coletados,

na janela de dados também foram informados os dados de tempo da falha, o que resultou nos gráficos de barras e probabilidade, fornecidos pelos software, na janela de análise o software forneceu os histogramas resultantes, através da escolha da distribuição dos dados, onde foi escolhido o modelo de distribuição ótimo para o equipamento, sendo estas distribuições disponíveis no modelo de: (i) Exponencial, (ii) Weibull, (iii) Gamma, (iv) Lognormal e (v) Normal, sendo assim, o modelo escolhido para a centrífuga de acordo com a análise dos dados foi o modelo Gamma, partindo da escolha do modelo, todas as funções nas demais planilhas do software foram atualizadas de acordo com o modelo escolhido como referência.

Deste modo, os parâmetros da distribuição foram calculados e fornecidos suas informações como os percentis 10 e 50 e o MTTF, disponível no Anexo C. Na última planilha denominada de calculadora, foram obtidas as informações de confiabilidade, resultado fornecendo os gráficos de Função de Confiabilidade, Gráfico 3 e Taxa de falhas, Gráfico 4.

Para determinar se a escolha da distribuição Gamma, se a mesma, foi a escolha ideal, foi fornecido pelo próprio software o ajuste da distribuição dos dados, obtidos através da realização de dois testes de aderência: o teste do qui-quadrado e o teste de Kolmogorov-Smirnov, onde o mesmo determinou se a hipótese da distribuição selecionada era a correta podendo ser rejeitada ou aceita, sendo que para que a hipótese seja a aceita a mesma deverá ser aceita nos dois testes.

A flexibilidade do Proconf 2000 permitiu a interpretação do resultado do teste, e a escolha da melhor distribuição de forma que os parâmetros de confiabilidade calculados sejam o mais próximo possível do real.

No intuito de se obter os valores de confiabilidade e MTTF para a distribuição escolhida, o software nos forneceu os seguintes dados dispostos no Quadro 5.

Quadro 5 – Parâmetros de confiabilidade para o equipamento centrífuga SM100

Distribuição Gamma		
Parâmetro de localização = 0		
95% de intervalo de confiança em y (6,6244 até 15,9992)		
$\theta = 0,3177$ Var (θ) = 0,005		
T=10	T=50	MTTF
2,072	3,1914	3,2966

Fonte: Proconf 2000.

Em relação aos testes de aderência, Qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov os resultados são ilustrados no o Quadro 5, em resumo da referida análise.

Quadro 6 – Resultados obtidos através da realização dos testes de aderência

Teste Analítico Qui-Quadrado	Teste Analítico K-S
$X^2 = 2,03$ com 4 graus de liberdade	DN = 0,099
Nível de significância = 0,7306	Nível de significância = 0,2224

Fonte: ProConf 2000

Os resultados obtidos dos Quadros 5 e 6 apresentam-se mais evidentes quando analisamos os gráficos obtidos do cálculo da função confiabilidade, em Anexo D. O Gráfico 3 ilustra este comportamento da confiabilidade em relação ao tempo em dias.

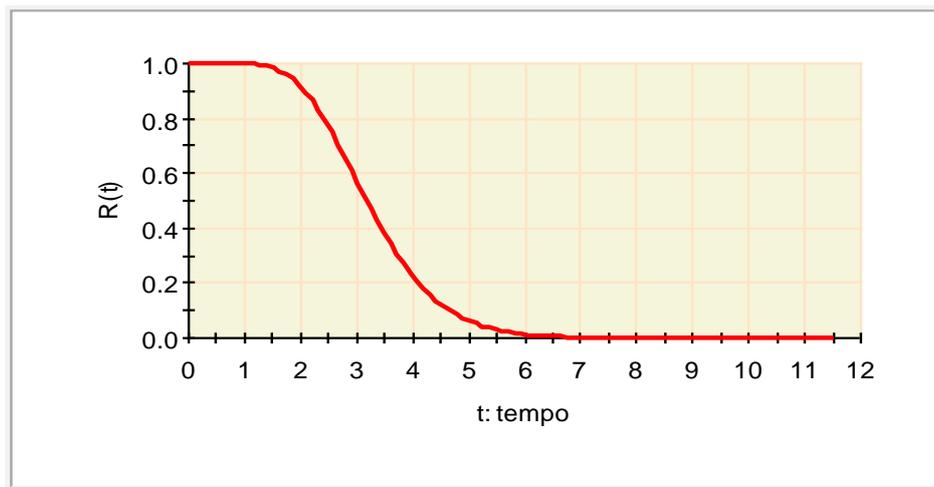


Gráfico 3 – Função confiabilidade da centrífuga SM100 para uma distribuição de probabilidade Gamma. Fonte: ProConf 2000.

O Gráfico 3 representa a função confiabilidade, eixo y, em relação ao tempo, eixo x, em $t=0$ a confiabilidade do equipamento encontra-se próximo a 100%, o que representa uma atividade de reparo, ou reforma de algum componente do mesmo, estendendo-se o horizonte em t, expressos em dias, em $t=3$, nota-se que a confiabilidade do equipamento apresenta um declive significativo, podendo correlacionar ao valor de MTTF apresentado pelo software, chegando a zero em $t=6$, ou seja a cada 6 dias a centrífuga SM100 poderá apresentar no mínimo uma falha funcional.

Em análise do Gráfico 4, ao se usar a mesma correlação em relação ao MTTF, pode-se observar que em $t=3$, há um aumento expressivo na taxa de falhas necessitando assim, após este período de tempo, o emprego de técnicas de análises preditivas como inspeção e preventivas, limpezas e substituições para a diminuição na taxas de falha. O Gráfico 4 apresenta o comportamento da taxa de falhas do equipamento em estudo em relação ao tempo em t dias.

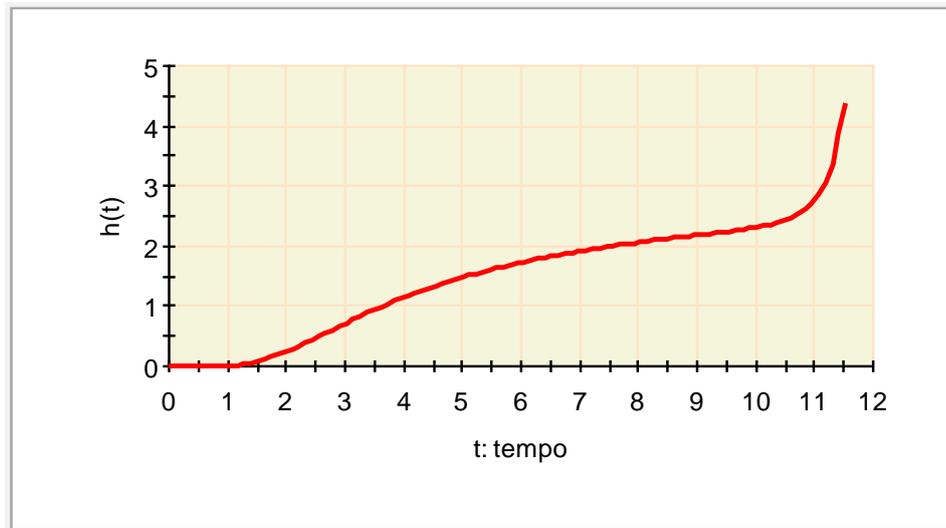


Gráfico 4 – Taxa de falhas da centrífuga SM100 para uma distribuição de probabilidade Gamma. Fonte: ProConf 2000

O resultado obtido da análise desta etapa, contemplado no Anexo C, serve de base para a elaboração do plano de manutenção em relação à determinação da melhor estimativa de frequência de realização de atividades relativas à substituição periódica de componentes não reparáveis na centrífuga SM 100.

Porém, é importante ressaltar que os dados utilizados na elaboração desta etapa podem apresentar variações aleatórias na amostra, devido aos grandes volumes de chuvas que ocorreram no período em análise, o que ocasionou em um aumento da ociosidade do equipamento, período este que pode apresentar influência sobre o comportamento das falhas, em termos de disponibilidade e a própria taxa de falha devido à redução da operação, onde o tempo de parada pode não ter sido especificado precisamente pelo operador ou mecânico em seus registros.

5.4.6 Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA)

A etapa 6, da implementação da MCC, consiste na realização da análise FMEA, como resultado têm-se elaboração da planilha de análise dos modos de falha e efeitos, baseados na metodologia de preenchimento proposta pela *Ford Motor Company* (1995), onde encontra-se no Apêndice E, com base nas informações das etapas anteriores, foram definidos os modos de falhas, efeitos e suas causas, bem como os índices de severidade, ocorrência e detecção, sendo medidos em uma escala de 0 a 10.

Uma tomada de decisão da autora deste trabalho para aplicação da FMEA foi à limitação da aplicação da mesma em um conjunto (subsistema) da centrífuga SM 100, onde se definiu através dos dados das falhas funcionais coletadas do equipamento, uma maior concentração destas no conjunto denominado conjunto rotor, sendo este o principal causador de indisponibilidade de operação do equipamento, logo se restringiu a aplicação inicial da FMEA no referido conjunto, como modelo base de aplicação para projetos futuros com a ferramenta FMEA inicialmente em equipamentos semelhantes do arranjo fabril da empresa em estudo.

O próximo passo da análise FMEA compreendeu-se no levantamento dos modos de falhas do conjunto rotor com a opinião especializadas dos operadores, mecânicos e encarregados, bem como o gerente da unidade, onde os dados referentes a cada falha funcional de um componente do referido conjunto, estes modos de falha foram avaliados e transcritos a planilha da FMEA, assegurando assim a documentação destes para análises futuras da FMEA, começando este preenchimento pelo cabeçalho da FMEA.

Como já mencionado para a planilha e preenchimento para a análise FMEA, a autora baseou-se no manual da *Ford Motor Company*, deste modo a Figura 7 apresenta a referida planilha citada.

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS				
FMEA		Subsistema	Equipe FMEA:	Folha nº
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO	<input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO			
SISTEMA		FMEA nº:	Componente	Coordenado por:
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão	Data:

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle

Figura 7 – Exemplo de planilha de análise dos modos de falha e efeitos utilizada no trabalho.
Fonte: Adaptado, *Ford Motor Company* (1995).

Após o preenchimento do cabeçalho iniciou-se o preenchimento das colunas, sendo a primeira referente ao componente em análise do conjunto Rotor, a segunda correspondente à função principal do mesmo, compreendendo as especificações do equipamento, em seguida preencheu-se a coluna dos modos de falhas que foi elaborada de acordo com os dados mensurados, e a experiência e opinião especializada da equipe, posteriormente sendo definido as suas consequências (efeitos).

Para a determinação dos índices, severidade, ocorrência e detecção, os mesmos foram baseados conforme a tabelas dispostas no Anexo E, cabe ressaltar que a tabela de severidade foi adaptada, pela autora deste trabalho, do manual da *Ford Motor Company*, (1995), no intuito que a mesma apresentasse uma linguagem clara e concisa, para que a equipe da MCC ao relacionar a severidade aos modos de falhas possa avaliar de forma efetiva sem questionamentos que possam atrapalhar a interpretação desta etapa.

Para facilitar a análise do preenchimento da planilha de análise de modos de falha e efeitos, definiu-se a sistemática de interpretação proativa da análise FMEA, adaptado da lógica de implantação da FMEA pela *Ford Motor Company*, (1995) em seu manual e a proposta de priorização de falhas de Palady (1997), contemplada na Figura 8.

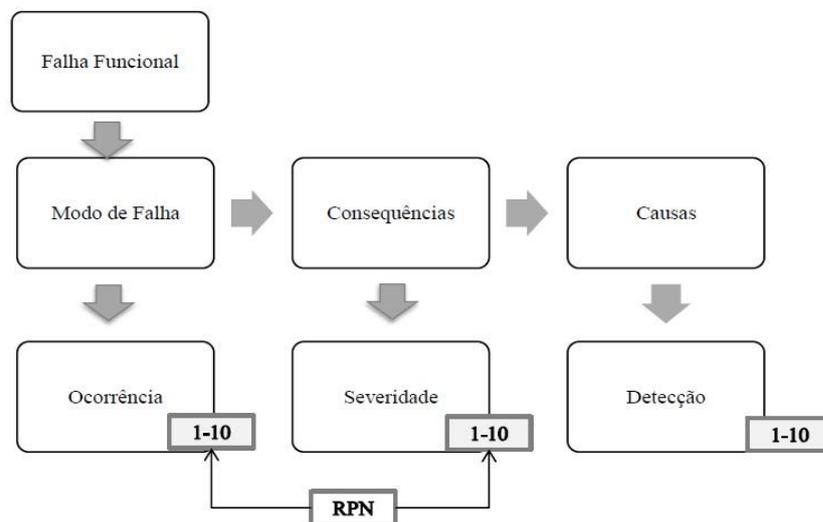


Figura 8 – Sistemática de análise da ferramenta FMEA. Fonte: Adaptado, Palady (1997).

A sistemática proposta para a interpretação FMEA deste trabalho se mostra um método eficaz de priorização dos modos de falhas para controles de prevenção, visto que a mesma não segue a linha de interpretação tradicional da FMEA onde os modos de falhas eram elencados de acordo com o seu grau de importância do RPN, ou seja, o modo de falha que possui o maior valor de RPN era priorizado, onde valores baixos de RPN poderiam ser tratados como ações corretivas, mas se analisarmos os índices de forma individual nas planilhas FMEA podemos observar que um RPN baixo comparado a um índice de severidade alto requer atenção, já que o índice de severidade pode representar um risco de segurança operacional, como por exemplo, esta situação pode ser vista no Apêndice E, planilha 18, que representa o modo de falha “entupimento dos bicos de saídas” onde o grau de RPN é baixo,

porém há um alto grau de severidade, o que nos impossibilita o descarte de uma medida de prevenção para este modo de falha.

Portanto, em avaliação ao método de priorização pró-ativa, Palady (1997), afirma que a principal vantagem sobre este método não se limita apenas a classificação dos modos de falhas e sim a avaliação deste a uma interpretação proativa, visando antecipar problemas futuros em relação às falhas e situações atuais, se contrapondo ao RPN tradicional, onde se têm uma mistura de interpretações tanto proativas e reativas no mesmo contexto.

Neste contexto, a priorização destas falhas, são resultados da análise do Gráfico de Áreas para a interpretação da FMEA, ilustrado na Figura 9, Segundo Palady (1997 p. 133) as áreas definidas concentram-se em três regiões sendo estas:

- Alta prioridade: grau de severidade igual ou superior a 9 ao se estabelecer 10 como limite mínimo de ocorrência.
- Média prioridade: limites inferiores de ocorrência igual ou superior a 5 ao estabelecer o limite máximo de igual a 9 para severidade e mínimo 4.
- Baixa prioridade: grau de severidade igual ou superior a 0, ao se estabelecer entre 4 e 5 como limite mínimo de ocorrência.

A Figura 9 ilustra o modelo proposto de gráfico de áreas como método de interpretação dos modos de falha.

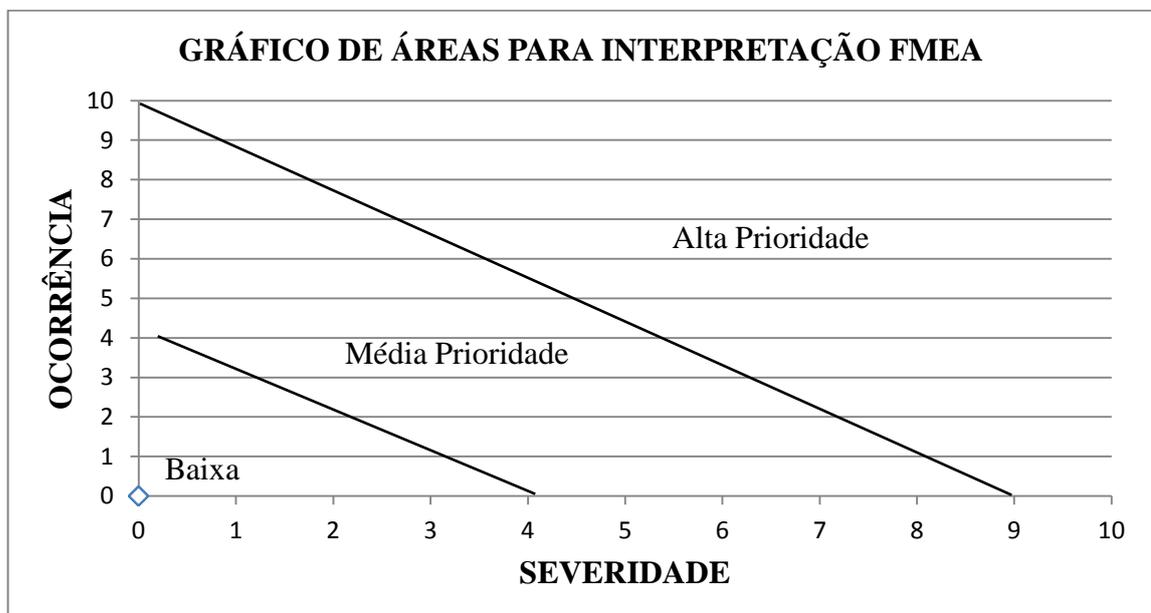


Figura 9- Gráfico de Áreas para interpretação pró-ativa da FMEA.
Fonte: Adaptado, Palady, (1997).

O passo de priorização dos modos de falhas não foi aplicado no presente trabalho, visto que com a restrição da aplicação da FMEA somente no conjunto Rotor, se decidiu que a

medidas preventivas, contempladas no plano de manutenção da MCC, devem ser elaboradas para todos os modos de falha, sendo assim a lógica de aplicação da priorização de falhas proposta neste estudo, será apenas para fins de documentação, para que eventualmente se possa usar em projetos futuros da MCC na empresa.

Finalizando a etapa 6, a última coluna da FMEA representa os itens de controle, medidas de controle atuais, sendo estes identificados como restritos apenas a inspeção visual, parada por oportunidade, limpeza, rota do lubrificador, e análise de vibração para o equipamento quem em sua maioria é feita a análise de vibrações, sendo esta efetuada 1 vez ao ano por uma empresa terceirizada, as ações recomendadas não foram contempladas na referida análise pois as mesmas se encontram no plano de manutenção em seguida o modos de falhas foram conduzidos para a elaboração da etapa 7, seleção das tarefas de manutenção proativas, onde determinou-se medidas preventivas e preditivas a estes modos de falha, de acordo com a efetividade dos itens de controle atuais e os recursos disponíveis da empresa para efetuar tarefas programadas da manutenção.

5.4.7 Seleção das tarefas proativas da Manutenção MCC

A análise das tarefas a serem definidas no plano de manutenção, foi baseada em duas ferramentas auxiliares de tomada de decisão, sendo estas, árvore lógica de decisão, Figura 3, e o diagrama de decisão da MCC, Anexo F, respectivamente executadas em ordem cronológica. Com o resultado destas duas ferramentas preencheu-se a planilha de seleção de tarefas da MCC, contemplado no Apêndice F.

A planilha de seleção de tarefas é proposta por diversos autores cada um com suas especificidades, mas com a mesma essência, da escolha da tarefa por um método de decisão lógico, para o presente trabalho a planilha foi retirada do estudo proposto por Zaions, (2003), sendo adaptada pela inserção da análise do diagrama de decisão da MCC proposto por Moubray (2000) apud Silva e Gama (2013 p.50).

A Figura 10 ilustra o referido modelo escolhido.

PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS														Nº 001				
SISTEMA											Equipe:			Folha nº				
SUBSISTEMA											Nº FMEA	Elaborado por:						
EQUIPAMENTO											2016001			Data:				
											Revisão			02/03/2016				
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO					DIAGRAMA DE DECISÃO								SELEÇÃO TAREFA DA MANUTENÇÃO			
		A	B	C	D	E	H	S	E	O	1	2	3	4	5	SELEÇÃO	TAREFA	

Figura 10 – Exemplo da planilha de seleção de tarefas utilizada no trabalho.

Fonte: Adaptado, Zaions (2003 p.83).

Tanto para a árvore lógica, como para o diagrama de decisão, as respostas para cada pergunta foram respondidas com um “SIM” em caso afirmativo, e “NÃO” para casos negativos. A função desta etapa 7, foi determinar qual a melhor forma em realizar a atividade de manutenção para cada componente da centrífuga SM100.

Na planilha de seleção de tarefas da MCC as duas primeiras colunas requerem aos dados obtidos da análise FMEA ao relacionar a identificação das falhas funcionais e seus potenciais modos de falhas, determinados então etapa 6, no intuito de facilitar a interpretação da planilha, optou-se por relacionar os modos de falhas de acordo com suas relações diretas que interferem a falha funcional de sua função principal, etapa 5, por exemplo, o modo de falha “Incrustação nos pratos” está diretamente relacionado à falha funcional 1 “Não produzir duas frações resultantes do meio fermentado”, pois o conjunto de pratos tem relação direta na separação dos meios fermentados, sendo sua função principal separar o líquido leve do líquido denso.

Na sequência, as próximas colunas estão associadas às ferramentas de tomada de decisão, árvore lógica de decisão e diagrama de decisão. A avaliação dos efeitos é dada pela árvore lógica representada pelas letras, A, B, C, D, e E. Sendo a letra A referente a problema de segurança, B problema operacional, C problema econômico insignificante, D falha oculta, e E problema de integridade ambiental.

Neste passo o objetivo foi associar às falhas as tarefas de manutenção, a fim de identificar as possíveis relações com os fatores de classificação das falhas servindo como um auxílio na identificação dos mesmos na análise do diagrama de decisão.

Na coluna referente ao diagrama de decisão da MCC, esta é representada pelas letras H, S, E, O, seguidos pelos números 1, 2, 3,4 e 5, onde a letra H é refere-se à falha ser evidente ou oculta, caso a falha seja evidente o modo de falhas irá para as demais perguntas relacionadas às letras S, E e O, sendo as mesmas são referentes à segurança, falhas ambientais e capacidade operacional, respectivamente, os números representam os níveis do diagrama de decisão referente a cada classificação dos modos de falhas de acordo com as respostas dadas, um exemplo da utilização é explicitado na sequência.

Baseando-se ainda no modo de falha “Incrustação nos pratos” temos como produto da árvore lógica de decisão a resposta sim para a letra C, ou seja, a falha representa um problema operacional para o a centrífuga SM 100, o que ocasiona em perdas no processo, logo o mesmo deverá requerer as tarefas planejadas de manutenção que sejam efetivas, como a manutenção preditiva, para se reduzir o custo com manutenção corretiva no equipamento.

Ao analisarmos o mesmo modo de falha, na visão do diagrama de decisão temos que, a falha é evidente, o que torna mais simples a identificação da falha, seguindo o fluxo de acordo com as repostas, foi possível determinar de qual forma a tarefa deverá ser aplicada para eliminar a falha através do nível em que a mesma se encaixa, onde se refere à estratégia de atividade da manutenção a ser adotada. A resposta do diagrama de decisão referente ao modo de falha compreende a falha da capacidade operacional, O e nível 2, obtendo-se uma estratégia voltada à recuperação periódica do componente, coluna de seleção, logo as tarefas recomendadas são inspeções visuais, e limpeza dos pratos na finalidade de minimizar o modo de falha.

Esta abordagem da MCC através de apoio aos diagramas de decisão nos permite uma redução do tempo para escolha das tarefas assertivas da manutenção, a escolha da estratégia de manutenção, nos possibilita eliminar as tarefas de manutenção não proativas, voltando os esforços para aquelas que realmente apresentam uma necessidade de intervenção, o que conseqüentemente, proporciona uma manutenção mais efetiva e uma redução nos custos globais de manutenção.

5.4.8 Plano de Manutenção Centrada em Confiabilidade

A elaboração do plano de manutenção MCC para a empresa constitui-se como a última etapa deste trabalho.

Para a elaboração do mesmo, baseado em todas as informações adquiridas das etapas anteriores, logo, as tarefas de manutenção definidas neste plano estão associadas aos modos de falhas de cada componente físico constituinte do conjunto rotor, da centrífuga SM 100, além das tarefas de manutenção, o plano contempla a frequência de realização destas tarefas e a indicação de um responsável pela execução da manutenção, bem como o tempo estimado para a realização desta tarefa afim que se possa programar a parada do equipamento.

O objetivo deste plano foi otimizar as tarefas de manutenção, onde grande parte das tarefas de manutenção aplicadas ao conjunto rotor eram de caráter reativo, ou seja aplicava-se o uso de manutenção corretiva, ao se esperar a quebra ou defeito de algum componente do conjunto, efetuando a troca ou reparo deste, logo definiu-se este plano para ganhos em confiabilidade dos equipamentos e manutenibilidade da manutenção. O Apêndice G contempla o resultado final desta etapa.

5.4.8.1 Considerações sobre o plano proposto

Em termos de confiabilidade de equipamento, a centrífuga SM100 apresenta um MTTF de 3,29 dias e mesmo assim, a mesma não possui um cronograma de paradas programadas em seu sistema de manutenção atual, sendo as referidas manutenções, efetuadas no período de safra, de forma corretiva, ou de paradas oportunistas, de acordo com a situação do processo, ocasionadas por parada da produção, chuvas, falta de cana-de-açúcar para moagem, etc.

Deste modo para a centrífuga SM 100 previa-se somente uma inspeção geral de frequência anual de seus componentes, onde a mesma era totalmente desmontada, sendo efetuado no período de entressafras. Nesta inspeção os conjuntos das centrífugas são inspecionados, através de uma análise de vibrações, técnicas preditivas, e na maioria das vezes estes itens eram trocados, com ações de recuperações, torneamento ou a substituição completa deste componente, pois a estratégia de manutenção para a maioria destes é de ação corretiva.

Diferente da ênfase do plano de manutenção atual da empresa onde a mesma é direcionada a atividades em sua grande maioria de manutenção não planejada, o novo plano proposto para a centrífuga, apresenta uma ênfase em manutenção planejada, o que acaba conduzindo a uma gama de tarefas de manutenção que possam otimizar não só a confiabilidade da centrífuga SM100, mas sim do sistema destilaria.

As tarefas definidas neste novo plano também são determinadas de acordo com uma visão pró-ativa, o que pode acarretar em uma diminuição dos custos com a manutenção corretiva e gastos com serviços terceirizados, aumentando o tempo de indisponibilidade do equipamento por tarefas de manutenção associadas a reformas de peças, ocasionadas pela vibração da operação do equipamento e muitas vezes como resultado de uma manutenção não orientada.

De acordo com a indisposição de dados sobre as falhas do equipamento de anos anteriores ou a baixa confiabilidade destes, coletados pela autora, com origem do caderno de controle da fermentação e centrifugação, as tarefas do Plano de Manutenção MCC para a empresa e a frequência destas foram definidas de acordo com o menor intervalo de tempo da falha em análise, bem como a rotina do setor de qualidade, quando relacionadas às tarefas de inspeção, opinião especializada dos colaboradores, a definição do tempo de parada para a realização das tarefas de manutenção foram considerados de acordo com as observações *in loco*, do tempo de reparo efetuado pelos mecânicos e operadores em grande parte dos componentes constituintes da centrífuga, como na análise FMEA foram identificados modos de falhas que nunca ocorreram no item físico ou ocorreram em um período não mensurados para estes, por conseguinte, foram determinados as informações no plano da MCC de forma subjetiva, visto que não há a possibilidade de ser calcular um tempo ideal para as atividades de manutenção.

A empresa dispõe de recursos para o emprego de técnicas preditivas que avaliem as condições do equipamento e desgaste de seus componentes, o que representa um ponto positivo para as tarefas de manutenção, logo as tarefas baseadas em predição devem ser recomendadas preteritamente, pois segundo Folgliatto e Ribeiro, (2009) estas conduzem a decisões de reparo ou substituição de componentes somente quando necessárias, diminuindo assim o custo com as operações de manutenção desnecessárias.

Logo, o Plano de MCC para empresa pode ser definido como um programa de manutenção constituinte de diversas técnicas da engenharia da manutenção e PCM, no intuito

de assegurar que os equipamentos da planta fabril continuem a realizar suas funções e padrões de desempenho especificados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, o cenário do chão de fábrica, requer esforços de todas as áreas compreendidas na engenharia industrial, na busca de agregação de valor ao produto final, em termos de qualidade, e redução dos custos de produção do mesmo. Logo as estratégias de minimização destes custos, não se restringem somente a áreas de PCP e qualidade, mas sim surge à necessidade da integração de áreas vistas antes como um fardo que não podia ser dispensado, como é o caso das tarefas de manutenção. Deste modo pode-se afirmar que é inegável que atualmente a manutenção desempenha um papel importante na gestão de ativos do processo pelas organizações.

Neste contexto, a pesquisa do presente trabalho teve como objetivo geral propor e analisar e aplicar uma metodologia para concepção de um sistema de manutenção planejada, visando a sistemática de implementação proposta pela MCC, em uma usina do setor sucroenergético.

Para o alcance deste objetivo o método utilizado foi o de pesquisa-ação com observações *in loco*, em conjunto com a pesquisa bibliográfica, e a participação de colaboradores da empresa o que proporcionou uma contribuição para este estudo, devido à associação de diversas definições, recursos e procedimentos adotados da empresa em análise, o que contribuiu significativamente no desenvolvimento de novos conhecimentos e opinião crítica da autora deste trabalho.

Deste modo, foi proposta uma metodologia centrada em confiabilidade MCC em um equipamento crítico do processo, centrífuga de modelo SM100, da empresa em estudo, de modo a escolher a sistemática ideal de aplicação da mesma, possibilitando o alcance dos objetivos pré-estabelecidos neste trabalho.

Neste contexto, no que diz respeito aos procedimentos adotados na metodologia desta pesquisa, o mesmo viabilizou o entendimento da proposta do estudo da MCC, pela autora deste trabalho, possibilitando alcançar todas as etapas desta metodologia de manutenção de forma efetiva na empresa.

De modo geral, no âmbito das melhorias trazidas para a empresa, houve a estimulação do conceito de manutenibilidade do equipamento associados à confiabilidade

destes, podendo tornar na empresa, se esta optar pela continuidade, a disponibilidade do recurso de um programa de manutenção duradouro e efetivo, com o desenvolvimento de mantenedores do equipamento, direcionando assim os esforços a um trabalho de manutenção pró-ativa em todo o âmbito fabril.

Ademais, os resultados que emergiram deste trabalho, demonstraram que o método seguido de aplicação da MCC, mostra-se adequado para um equipamento crítico do processo, mesmo que estas tarefas apresentem-se de forma limitada a um conjunto deste equipamento, além do mais esta metodologia pode ser estendida a demais equipamentos e sistemas funcionais.

Em relação às limitações da presente pesquisa, mencionam-se a dificuldades em levantamento de informações através de dados históricos de máquinas e equipamentos, devido a não cultura destes registros de forma adequada, o que impossibilitou definir a frequência das tarefas da manutenção baseadas no período de falhas de cada componente, por indicadores de confiabilidade como MTTF e MTBF, assim esta limitação também impossibilitou o cálculo da disponibilidade do equipamento, sendo o acompanhamento destes indicadores propostos para trabalhos futuros, onde a MCC poderá ser revisada, reavaliando estas frequências com dados objetivos, obtidos através do processo de documentação destes registros.

Outra limitação do trabalho compreende na não existência de um setor específico para o planejamento e controle da manutenção, o que pode comprometer o desenvolvimento da MCC na empresa, onde não há responsáveis pelo projeto da MCC, o que pode tornar sua aplicação na empresa ineficiente ou até o arquivamento do projeto da mesma, não dando assim a devida continuidade. Deste modo, como recomendações para futuros trabalhos sugere-se a criação do setor de PCM na empresa, não só se remetendo a análises da MCC, mas sim ao gerenciamento das práticas de manutenção e acompanhamento de indicadores e metas para este setor, o que não existe no cenário atual da empresa.

Cabe enfatizar, que o estudo de análise de falhas apoiou-se na ferramenta FMEA, onde se restringiu sua aplicação somente ao conjunto rotor, como meio facilitador de análise, devido a dificuldades de interpretação da aplicação da FMEA por ser a primeira a ser executada na empresa, visto que a listagem de todos os modos de falha do equipamento como recomenda a literatura, segue como uma sugestão futura.

Ainda em consideração a recomendações para trabalhos futuros, pode-se estender a metodologia proposta neste trabalho, a todos os equipamentos críticos do processo, inicialmente pelas demais centrífugas que compõem o subsistema centrifugação, aumentando

a confiabilidade generalizada do subsistema e conseqüentemente a do sistema destilaria, onde este é crucial para a definição da qualidade do produto final.

Além disso, sugere-se coletar e avaliar dados de falhas para a revisão contínua dos planos de manutenção nos equipamentos, bem como uma sistemática de revisão periódica das planilhas da FMEA, o que pode contribuir para o gerenciamento efetivo da manutenção, também se sugere o emprego do uso de sistemas de tagging a fim de se identificar a localização exata de equipamentos e componentes, ao se fazer a manutenção programada organizando assim o almoxarifado de manutenção e otimizando o tempo destas tarefas.

Por fim, através dos resultados das informações levantadas nesta pesquisa, e a integração destas informações fornecidas pela empresa, opinião especializada de colaboradores, e a revisão da literatura, bem como os conhecimentos acerca das ferramentas gerenciais associadas ao Planejamento e controle da Manutenção (PCM), e áreas da Engenharia de Produção como Gestão da Qualidade viabilizaram a execução de todas as etapas deste trabalho, resultando na Metodologia Centrada em Confiabilidade para um equipamento crítico do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMAQ, Associação Brasileira de Indústrias de Máquinas e Equipamentos -. **Anuário 2009-2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.abimaq.org.br/anuario2010/anuario.html>>. Acesso em: 07 mar. 2015.
- ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção -. **Documento Nacional**. 2011. 26º Congresso Brasileiro de Manutenção. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2015
- ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção -. **Documento Nacional**. 2013. 28º Congresso Brasileiro de Manutenção. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2015
- ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: 2008. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em 10 mai. 2015.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BARAN, Leandro Roberto. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada na redução de falhas: um estudo de caso**. 2011. 103 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Industrial: Produção e Manutenção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.
- BOCCATO, V. R. C. **Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação**. Rev. Odontol. Univ. Cidade São Paulo, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.
- CAMPBELL, John D., James Reyes-Picknell. **Uptime: Strategies For Excellence in Maintenance Management** 2 ed. Portland, OR: Productivity Press. 2006.
- CAMPOS, Alessandro; LIMA, Carlos Roberto Camello. **Contribuição da Manutenção Estratégica para a Sustentabilidade**. Unopar, Londrina - Pr, v. 11, n. 1, p.43-48, 14 nov. 2012.
- CARNAÚBA, Ederson Rodrigues.; SELITO, Miguel Alfonso **Análise de confiabilidade e evolução de uma máquina de envase de leite UHT ao longo da curva da banheira**, 2013.
- CARPINETTI, L.C.R., **Gestão da Qualidade – Conceitos e Técnicas**, São Paulo, Atlas, 2010.
- CARVALHO, Ricardo. **Revolução industrial**. 2014. Disponível em: <<http://www.portalmodulo.com.br>>. Acesso em: 13 abr. 2015
- COSTA, Orlando Moraes. **O desenvolvimento capitalista e as mutações do trabalho: A revolução industrial, as fábricas mecanizadas e o sistema industrial**. Revista **Interciular**, Barra do Garça - Mt, v. 1, n. 1, p.1-12, 05 dez. 2008.
- CRISTINO, Cláudio Tadeu; CORDEIRO, Gauss Moutinho; LINS, Sóstenes. Confiabilidade e Avaliação de risco no sistema elétrico. **Mat. Estat**, São Paulo, v. 25, n. 2, p.87-109, 2007. Semanal.

- DATHEIN, Ricardo. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX**. DECON Textos Didáticos 02/2003. DECON/UFRGS, Porto Alegre, Fevereiro 2003.
- DODSON, B.; NOLAN, D. **Reliability engineering handbook**. N. York: Marcel Dekker, 2002.
- DUNN , Sandy . **Reinventing The Maintenance Process – Towards Zero Downtime**. Disponível:<<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/MaintenanceMana.../Reinventing.ht> > . Acesso em : 03/08/2015.
- FELIX A. MARTEN, Jr. **Reliability Centered Maintenance: A case study of railway transit maintenance to achieve optimal**. San José: State University, 2010.
- FILHO, G. B. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- GURSKI, Carlos Alberto. **Noções de Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Disponível em: < http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/confiabilidade_e_manutencao.pdf. Acesso em: 20 jul. 2015
- HELMAN, H., ANDREY, P. R. P. **Análise de Falhas – Aplicação dos Métodos de FEMEA – FTA**. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- J. Wang and J. Chu, “**Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process,**” *International Journal of Production Economics*, Vol. 107, No. 1, 2007, pp. 151-163.
- JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). 600 Forms Manual. Japan, 1995.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.
- LAFRAIA, João Ricardo B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LUCATELLI, Marcos Vinícius. **Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares**. 2002. 285 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- MONCHY, F. **A função manutenção**. Sao Paulo: Durban, 1997.
- MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. (Reliability-Centered Maintenance – RCM). Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon, 2000.
- MURRAY, M., Fletcher, K., Kennedy, J., Kohler, P., Chambers, J., Ledwidge, T., 1996. "Capability assurance: a generic model of maintenance", **Maintenance Engineering Society of Australia**.
- NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. 1. ed. 3º reimpressão. São Paulo: Blucher, 2006.

- OLIVEIRA, Davi Borges. **Manutenção Preditiva com ênfase em termografia: Um estudo de caso em uma indústria sucroalcooleira**. 2012. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário de Formiga - Unifor, Formiga - Mg, 2012.
- PALADY, PAUL. FMEA Failure modes and effects analysis. (tradução). 4 Ed., São Paulo: IMAM, 2007.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. 4ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2012.
- POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA). **Reference Manual**. 2 ed., Copyright©, *Ford Motor Company*, 1995.
- PROCONF2000. **Confiabilidade de componentes**. Software. Copyright©, Maxxi Gestão Empresarial, Porto Alegre, 2000.
- QUEIROZ, Emerson Santos; HOLANDA, Kleber; SANTOS, Mateus Carlos Ramos dos; BORGES, Pollyana Luiza Martins. **Manutenção centrada em confiabilidade: importante ferramenta para a redução de custos e falhas**. 2013. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Norte Capixaba de São Mateus, São Mateus, 2013.
- RAUSAND, M; EINARSSON, S. **An Approach to Vulnerability Analysis of Complex Industrial Systems**. Oxford: Blackwell Publishing, 1998.
- ROMERO, Camila Mendonça. **Análise estatística e avaliativa do processo de manutenção mecânica em uma empresa de transporte público por ônibus**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011.
- ROSS, Sheldon M.. **Introduction to Probability Models**. 9. ed.: Academic Press, 2006. 750 p.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R.; K. **Gestão de desenvolvimento de produto: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SHARMA, A., YADAVA, G.S., DESHMUKH, S.G. “**A literature review and future perspectives on maintenance optimization**”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v.17 n.1, p 5-25, 2011.
- SIMEI, Luiz C. **A Definição da Manutenção**. Set. 2012. Disponível em: <<http://manutenabilidade.blogspot.com.br/2012/09/a-definicao-da-manutencao.html>>. Acesso em: 12 mai. 2015
- SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2 ed., 2012.
- SMITH, Anthony M. **Reliability-Centered Maintenance**. 1ª. ed. Boston: McGraw-Hill, 1993.
- SMITH, Anthony M. **Reliability-Centered Maintenance**, London, Butterworth Heinemann, 1997. 2nd edition
- Smith, R. and Hawkins, B., 2004. *Lean Maintenance: Reduce Costs; Improve Quality and Increase Market Share*. Massachusetts: Butterworth-Heinemann Publication.
- SILVA, Ivan Augusto Tocantins da; GAMA, Maurício Otávio Pereira. **Proposta de um Plano de Manutenção Centrada em Confiabilidade para máquinas carregadeiras em uma empresa de transporte rodofluvial e logística em BELÉM – PA**. 2013. 137 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade da Amazônia, Belém, 2013.

- SOUZA, Rodrigo de Queiroz. **Metodologia e desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva visando à melhoria da confiabilidade de ativos de usina hidrelétricas**. 2008. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2008.
- SOUZA, Valdir Cardoso de. **Organização e gerenciamento da manutenção: programação e controle de manutenção**. 4^a. Ed., São Paulo: All Printe Editora. 2011.
- TAVARES, Lourival. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: NAT, 1999.
- THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND SEA AIR AND SPACE. **SAE JA 1012: A Guide to the Reliability- Centered Maintenance (RCM) Standard**. 2 ed., 2002. 62 p.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 14. edição, São Paulo: Cortez Editora, 2005.
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Qualidade e Produtividade (Especialização)**. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.
- Universo Sigma. Sigma PDCA. Software. Copyright©. Rede industrial, São Paulo, 2015.
- VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- WUTTKE, R.; SELLITTO, M. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. **Produção Online**, v.8, n.4, p.1-23, 2008.
- XAVIER, Julio de Aquino Nascif. **Manutenção Classe Mundial**. Belo Horizonte: 2011. 11 p. Disponível em: <<http://www.icapdelrei.com.br/arquivos/Artigos/manutencao>>. Acesso em: 19 mar. 2015.
- ZATIONS, Douglas Roberto. **Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Avaliação e classificação dos níveis de criticidade dos itens físicos da unidade fabril da empresa.

AValiação e CLASSIFICAÇÃO DOS ITENS FÍSICOS – UNIDADE FABRIL			
Máquina/Equipamento	Sistema	Nível de criticidade	Manutenção adequada
Aquecedor Vertical 01	Evaporação	A	Preditiva
Aquecedor Vertical 02	Evaporação	A	Preditiva
Aquecedor Vertical 03	Evaporação	A	Preditiva
Aquecedor Vertical 04	Evaporação	A	Preditiva
Bomba Centrífuga BEL-EL	Evaporação	A	Preditiva
Bomba Centrífuga BEL-VP	Evaporação	A	Preditiva
Bomba Centrífuga COI-D	Destilaria	C	Corretiva
Bomba Centrífuga COI-EL	Destilaria	C	Corretiva
Bomba Centrífuga INI	Extração do caldo/Destilaria	A	Preditiva
Bomba Centrífuga TCI	Extração do caldo	C	Corretiva
Bomba Vinhaça	Destilaria	C	Corretiva
Caldeira	Evaporação	C	Preditiva
Centrífuga (1) DX309	Destilaria	A	Preditiva
Centrífuga (2) DX309	Destilaria	A	Preditiva
Centrífuga (3) SM100	Destilaria	A	Preditiva
Centrífuga (4) DX309	Destilaria	A	Preditiva
Centrífuga (5) SCM 95	Destilaria	A	Preditiva
Coluna Auxiliar B1	Destilaria	C	Corretiva
Coluna de Destilação A	Destilaria	C	Corretiva
Coluna de Destilação B2	Destilaria	C	Corretiva
Coluna de Retificação B	Destilaria	C	Corretiva
Condensador Auxiliar E2	Destilaria	A	Preditiva
Condensador Principal E1	Destilaria	A	Preditiva
Desfibrador	Preparação da cana	C	Corretiva
Difusor	Extração de Caldo	B	Preventiva
Dornas de Fermentação	Destilaria	A	Preditiva
Eletroímã	Preparação da cana	C	Corretiva
Moenda	Extração de caldo	A	Preditiva
Peneira Rotativa	Preparação da cana	B	Preventiva
Picador 01	Preparação da cana	C	Corretiva
Picador 02	Preparação da cana	C	Corretiva
Pré-aquecedor de Vinho	Destilaria	A	Preditiva
Pré-evaporador	Evaporação	A	Preditiva

Rebaixadora	Evaporação	A	Preditiva
Redutora p/ Escape Vegetal	Evaporação	B	Preventiva
Resfriador de óleo Fusel	Destilaria	C	Corretiva
Spray	Destilaria	A	Preditiva
Tanque de ar Comprimido	Destilaria	A	Preditiva
Tanque pulmão	Destilaria	A	Preditiva
Turbina	Preparação/Extração do Caldo	B	Preventiva
Trocadores de calor J	Evaporação/Destilaria	A	Preditiva
Trocadores de calor K	Evaporação/Destilaria	A	Preditiva
Vaso Equalizador	Destilaria	A	Preditiva
Ventilador BB de Vinhaça	Destilaria	C	Corretiva
Volante	Destilaria	A	Preditiva

APÊNDICE B - PLANILHA DE ASSOCIAÇÃO DAS RELAÇÕES DOS ITENS FÍSICOS AS CONSEQUÊNCIAS DOS EFEITOS NO PROCESSO PRODUTIVO

Máquina	Segurança e Meio Ambiente			Qualidade e Produtividade			Taxa de Ocupação			Oportunidade de Produção			Frequência da Quebra			Manutenibilidade		
	Acidentes pessoais, Agressões ao MA e danos materiais	Exposição ao risco de acidente ao MA ou patrimônio	Nenhum Risco	Produtos com defeito, redução da velocidade da Produção	Variação da qualidade ou produtividade	Não afeta	24 horas por dia	Dois turnos ou horário administrativo	Ocasionalmente ou não faz parte do processo produtivo	Cessa todo o Processo	Cessa parte do processo	Não afeta	Intervalo menor que 06 meses	Em média 01 vez ao ano	Raramente acontece	O tempo e/ou custos dos reparos são elevados	O tempo e/ou custos dos reparos são suportáveis	O tempo e/ou custos dos reparos são irrelevantes
Aquecedor Vertical 01	X																	
Aquecedor Vertical 02	X																	
Aquecedor Vertical 03	X																	
Aquecedor Vertical 04	X																	
Bomba Centrífuga BEL-EL	X																	
Bomba Centrífuga BEL-VP	X																	
Bomba Centrífuga COI- EL			X					X			X			X				X
Bomba Centrífuga COI-D			X					X			X			X				X
Bomba Centrífuga INI		X		X				X			X		X			X		
Bomba Centrífuga TCI			X				X	X			X			X				X
Bomba Vinhaça			X				X	X		X				X				X
Caldeira	X																	
Centrífuga 01		X					X				X		X		X			
Centrífuga 02		X					X	X		X			X		X			
Centrífuga 03		X		X				X	X			X			X			
Centrífuga 04		X		X				X	X				X		X			
Centrífuga 05			X	X			X		X					X				
Coluna A		X			X		X		X					X				X
Coluna B		X			X		X		X					X				X
Coluna B1		X			X		X		X					X				X
Coluna B2			X			X	X				X			X				X
Condensador Auxiliar E2			X	X			X		X					X	X			
Condensador Principal E1			X	X			X		X					X	X			
Desfibrador			X			X	X				X			X				
Difusor			X		X		X			X		X				X		
Dornas de Fermentação		X		X			X			X			X					X
eletroímã			X				X				X			X				
Moenda		X		X			X			X		X			X			
Peneira Rotativa			X		X		X			X		X				X		
Picador 1			X				X	X			X			X				X
Picador 2			X				X	X			X			X				
Pré-aquecedor de Vinho	X																	
Pré- evaporador		X		X			X			X		X						X
Rebaixadora		X		X			X		X				X			X		
Redutora p/ escape vegetal		X					X	X			X		X			X		
Resfriador de óleo Fusel			X			X	X				X			X				X
Spray		X		X			X		X					X	X			
Tanque de ar comprimido			X	X			X		X				X			X		
Trocadores de calor J		X		X			X		X					X		X		
Trocadores de calor K		X		X			X		X					X		X		
Turbina		X		X			X			X				X		X		
Vaso Equalizador			X	X			X		X					X				X
Ventilador BB de vinhaça			X				X	X			X		X					X
Volante		X		X			X		X					X				X

Fonte : Elaborada pela Autora.

APÊNDICE C – Descrição operacional do subsistema Centrifugação

SUBSISTEMA CENTRIFUGAÇÃO	ÁREA INDUSTRIAL	Folha n°
	Subsistema “B”	1 de 1
DESCRIÇÃO OPERACIONAL DO SUBSISTEMA CENTRIFUGAÇÃO		
<p>1 Principais operações:</p> <p>O meio fermentado é encaminhado para um tanque-pulmão que alimenta a seção de separação, centrifugação, as centrífugas DX309, SM100 e SCM 95 são alimentadas por intermédio de bombeamento de água no sistema por um spray, onde neste processo são produzidas duas frações, a primeira denominada vinho, que segue para tanque-pulmão denominado de dorna volante, que alimenta a destilaria, e a segunda, é uma suspensão concentrada de leveduras, fermento, onde esta suspensão é encaminhada para os pré-fermentadores, denominados de cubas de tratamento, por meio da tubulação de vinho e o efeito gravidade, sendo estas 03 cubas, onde o fermento sofre diluição com água também proveniente do Spray e a adição de ácido sulfúrico por meio de um agitador mecânico instalado nas cubas de tratamento.</p> <p>A caixa d'água pode ser acionada caso a caldeira desarme, e não haja cogeração de energia.</p> <p>A bomba centrífuga INI transfere o vinho centrifugado que segue para a destilação conduzindo-o para o volante, e é aquecido a 75°C no aquecedor E, em contracorrente com os vapores do topo da coluna de retificação e vai para os trocadores K, neste estágio são liberados dois tipos de vapores, o vapor vegetal e o vapor de álcool em forma de flegma, onde o último sai do topo da coluna A e entra na coluna B, é resfriado e condensado nos condensadores, formando o álcool hidratado, produto final, com saída no topo da coluna B, na coluna A entra o vapor vegetal (V1) e sai o líquido (vinhaça) para o tanque de vinhaça.</p> <p>A energia elétrica é adquirida através de um gerador de energia, que aproveita o bagaço da cana e é fornecida aos motores elétricos das bombas.</p> <p>Motor por indução é alimentado pela energia elétrica adquirida do Gerador WGWGb 710, onde o mesmo é acionado por turbina, onde a mesma é alimentada pelo vapor que sai direto da caldeira.</p> <p>O volume da dorna volante permite que a fábrica de etanol funcione por aproximadamente 6 horas, mesmo que o processo de preparo e extração do caldo e centrifugação não esteja operante.</p> <p>O nível das dornas de fermentação é definido a partir da qualidade e produtividade da levedura e do processo como um todo.</p> <p>Quando o nível do Tanque de caldo misto estiver acima do nível, tanque cheio, o CLP, comando lógico programável, aciona um alarme e os operadores da destilaria aumentam a velocidade de produção, o que conseqüentemente necessita de uma maior produção de vapor advindo da caldeira, o acionamento do alarme pelo CLP, também ocorre caso o nível de caldo misto esteja abaixo do nível desejado, controlado por uma variável manipulada, válvula de controle, neste caso os operadores da destilaria diminuem a velocidade de produção ou param completamente caso não haja vinho na dorna volante.</p> <p>Se a pressão da caldeira estiver baixa, há uma queda na produtividade das colunas de destilação e retificação, deve-se parar a centrifugação.</p> <p>O tanque pulmão tem a funcionalidade de manter o nível de produção sempre constante.</p> <p>A água utilizada no processo é de característica cíclica onde a mesma percorre por todo o processo e volta para o tanque de Spray onde é acionado o bombeamento da mesma.</p>		

Fonte: Elaborada pela Autora.

APÊNDICE D - Identificação das Falhas no Sistema Destilaria

Identificação das Falhas no Sistema Destilati			
Item	Data	Turno	Tarefa/Modo de falha
Centrífuga 03	10/06/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 05	10/06/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 04	10/06/2015	B	entupimento/ troca do bico
Centrífuga 03	12/06/2015	B	troca de bico/entupimento do bico
Centrífuga 01	12/06/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 02	13/06/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 04	19/06/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 02	20/06/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02	20/06/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 04	20/06/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 05	27/06/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 03	27/06/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 05	28/06/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 03	29/06/2015	A	parada repentina/limpeza
Centrífuga 03	29/06/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 01	01/07/2015	A	troca de bico/lubrificação
Centrífuga 02	01/07/2015	A	troca de bico/lubrificação
Centrífuga 03	01/07/2015	A	lubrificação
Centrífuga 04	01/07/2015	A	troca de bico / lubrificação
Centrífuga 05	01/07/2015	A	lubrificação
Centrífuga 04	06/07/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 01	07/07/2015	B	vazamento
Centrífuga 03	15/07/2015	B	troca de bico/ recentrifugação
Centrífuga 03	15/07/2015	B	bico > 1,3
Centrífuga 02	19/07/2015	B	troca de bico
Centrífuga 03	26/07/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 01	27/07/2015	B	limpeza
Centrífuga 02	27/07/2015	B	limpeza
Centrífuga 04	27/07/2015	C	limpeza
Centrífuga 03	28/07/2015	B	troca de bico
Centrífuga 03	30/07/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02	30/07/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 04	30/07/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 01	31/07/2015	A	troca de bico de entrada
Centrífuga 02	01/08/2015	A	limpeza
Centrífuga 04	03/08/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 04	05/08/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 01	05/08/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 03	06/08/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 02	08/08/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 04	12/08/2015	C	limpeza
Centrífuga 01	14/08/2015	C	limpeza
Centrífuga 02	14/08/2015	C	limpeza
Centrífuga 04	14/08/2015	C	limpeza
Centrífuga 05	16/08/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 04	20/08/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 02	21/08/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02	23/08/2015	B	limpeza
Centrífuga 04	26/08/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02	30/08/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 04	01/09/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 05	03/09/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 03	03/09/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 02	03/09/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 05	04/09/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02	05/09/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 05	05/09/2015	C	limpeza/ troca de bico
Centrífuga 03	05/09/2015	C	limpeza/ troca de bico
Centrífuga 04	06/09/2015	B	limpeza
Centrífuga 05	07/09/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 03	14/09/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 02	14/09/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 03	17/09/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 03	18/09/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 04	22/09/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 05	23/09/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 03	29/09/2015	A	troca de bico de entrada
Centrífuga 01	01/10/2015	A	lubrificação
Centrífuga 02	01/10/2015	A	lubrificação
Centrífuga 04	01/10/2015	A	lubrificação
Centrífuga 02	05/10/2015	B	motor
Centrífuga 01	08/10/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 03	14/10/2015	B	desarme
Centrífuga 03	18/10/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 01	18/10/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 02	18/10/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 02	20/10/2015	C	limpeza
Centrífuga 03	20/10/2015	C	limpeza
Centrífuga 03	22/10/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 02	23/10/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 01	24/10/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 02	24/10/2015	C	entupimento do bico

Centrífuga 03	25/10/2015	B	troca de bicos
Centrífuga 04	26/10/2015	B	limpeza
Centrífuga 04	30/10/2015	C	limpeza
Centrífuga 02	01/11/2015	B	limpeza
Centrífuga 04	01/11/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 03	01/11/2015	C	limpeza
Centrífuga 03	03/11/2015	A	desarme do anel de fechamento
Centrífuga 03	04/11/2015	A	lubrificação
Centrífuga 01	06/11/2015	C	limpeza
Centrífuga 03	07/11/2015	A	reforma
Centrífuga 04	07/11/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 05	09/11/2015	A	limpeza
Centrífuga 02	09/11/2015	B	limpeza
Centrífuga 04	09/11/2015	B	limpeza
Centrífuga 03	09/11/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 03	10/11/2015	C	falta de óleo
Centrífuga 3,05,02	10/11/2015	C	desarme do gerador falta de energia elétrica
Centrífuga 03	11/11/2015	A	lubrificação
Centrífuga 04 e 05	12/11/2015	B	desarme do gerador falta de energia elétrica
Centrífuga 01	14/11/2015	A	limpeza
Centrífuga 03	15/11/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 03	17/11/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 03	17/11/2015	C	entupimento do bico
Centrífuga 03	18/11/2015	B	desmontar para a manutenção
Centrífuga 05	18/11/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 01	24/11/2015	C	limpeza
Centrífuga 02	24/11/2015	C	limpeza
Centrífuga 03	24/11/2015	C	limpeza
Centrífuga 04	24/11/2015	C	limpeza
Centrífuga 05	24/11/2015	C	limpeza
Centrífuga 03	28/11/2015	B	desmontar para limpeza
Centrífuga 01	03/12/2015	A	limpeza
Centrífuga 03	03/12/2015	A	troca de bicos
Centrífuga 01	03/12/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02	03/12/2015	B	limpeza
Centrífuga 04	03/12/2015	B	limpeza
Centrífuga 05	07/12/2015	A	lubrificação
Centrífuga 03	07/12/2015	B	Defeito na bomba de óleo (queimou)
Centrífuga 03	15/12/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02 04 05	16/12/2015	B	desarme do gerador falta de energia elétrica
Centrífuga 04	17/12/2015	B	limpeza
Centrífuga 03	23/12/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 02	23/12/2015	B	entupimento do bico
Centrífuga 02	27/12/2015	A	limpeza
Centrífuga 04	27/12/2015	A	limpeza
Centrífuga 05	27/12/2015	A	limpeza
Centrífuga 01	04/01/2015	B	limpeza
Centrífuga 02	04/01/2015	C	limpeza
Centrífuga 02	01/08/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 02	02/08/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 03	02/08/2015	A	entupimento do bico
Centrífuga 02	02/08/2015	B	entupimento do bico
Bomba vinhaça	29/10/2015	B	acionamento do motor
Coluna A	01/11/2015	A	arraste de vinho por espuma
Centrífuga 01	01/11/2015	B	Limpeza
Centrífuga 02	01/11/2015	B	Limpeza
Centrífuga 04	01/11/2015	B	Limpeza
Centrífuga 05	01/11/2015	B	Limpeza
Trocador de calor	02/11/2015	B	Limpeza
Coluna de destilação	06/11/2015	A	oscilação de pressão
Coluna A	06/11/2015	B	arraste de vinho por espuma
Bomba centrífuga INI	06/11/2015	B	peneuzinho de ligamento motor
Coluna de destilação	06/11/2015	C	oscilação de pressão
Coluna de destilação	07/11/2015	A	oscilação de pressão
Coluna de destilação	08/11/2015	C	oscilação de pressão
Coluna A	08/11/2015	C	espumação
Coluna A	09/11/2015	A	espumação
Coluna A	09/11/2015	B	arraste de vinho por espuma
Aquecedor 04	10/11/2015	A	Limpeza
Bomba vinhaça	10/11/2015	B	desarme
Regenerador	11/11/2015	A	Limpeza
Coluna de destilação	11/11/2015	C	oscilação de vapor
Coluna de destilação	12/11/2015	A	oscilação de pressão
Aquecedor 01	12/11/2015	A	Limpeza
Aquecedor 02	12/11/2015	A	Limpeza
Tubulação do caldo misto	12/11/2015	B	quebra do conchinho
Bomba centrífuga INI	13/11/2015	B	aquecimento da bomba
Aquecedor 03	14/11/2015	A	Limpeza
Aquecedor 04	14/11/2015	A	Limpeza
Resfriador de óleo fusel	14/11/2015	A	Limpeza
Coluna de destilação	18/11/2015	A	oscilação de pressão
Centrífuga 03	18/11/2015	B	solda de parafuso
Trocador de calor	19/11/2015	A	limpeza e inversão das placas
Coluna de destilação	19/11/2015	B	Limpeza
Coluna de destilação	20/11/2015	C	oscilação de pressão
Centrífuga 03	22/11/2015	A	troca de cabo, limpeza

Coluna de destilação	24/11/2015	A	oscilação de pressão
Bomba centrífuga INI	07/12/2015	B	queima do motor
Bomba centrífuga INI	08/12/2015	B	queda de vazão/troca da bomba
Coluna de destilação	08/12/2015	C	oscilação de pressão
bomba vinhaça	15/12/2015	C	desarme
bomba vinhaça	17/11/2015	A	quebra do eixo
Trocador de calor	18/12/2015	B	Limpeza
Dornas de fermentação	18/12/2015	B	quebra do pistão antiespumante
Centrífuga 03	19/12/2015	A	pintura da rosca
Trocador de calor	21/12/2015	C	limpeza
Tubulação de vapor	28/12/2015	C	estouro do cano
Centrífuga 03	27/12/2015	C	pintura da rosca
Coluna de destilação	03/01/2015	B	oscilação de pressão
Dornas de fermentação	03/01/2015	C	ineficiência do processo
Bomba centrífuga INI	05/01/2015	A	não identificado
Trocador de calor	05/01/2015	B	Limpeza
Coluna de destilação	06/01/2015	A	oscilação de pressão
medidor de vazão	06/01/2015	A	estouro na junta do medidor
Coluna de destilação	09/01/2015	A	oscilação de pressão

Fonte: Elaborado pela Autora.

APÊNDICE E- Análise dos Modos de falha e Efeitos (FMEA)

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe FMEA:	Folha nº
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO				Rotor	
SISTEMA		FMEA nº:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Anel de Fechamento		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Anel de fechamento	Evitar que a base e os pratos não se separem fechar o corpo do rotor.	Corrosão no interior do anel.	Quebra de rolamento Desgaste do material Desbalanceamento de máquina Alta vibração da máquina	4	Alta concentração de areia no vinho	7	3	84	Inspeção Visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha nº
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		2 de 29
SISTEMA	FMEA nº:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Anel de fechamento		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Anel de fechamento	Evitar que a base e os pratos não se separem fechar o corpo do rotor.	Desgaste no anel de fechamento	Apesar de o componente continuar operando há um desbalanceamento de máquina ao qual afeta o rendimento da mesma. Aumento de vibração da máquina devido ao não encaixe do anel de fechamento.	4	Pressão de montagem inferior a 4,0mm de tolerância	1	-	4	-
					Material de inox de má qualidade	1	-	4	-
					Vibração do conjunto.	10	3	120	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO			Rotor		
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Rosca do rotor		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Roscas do rotor	Impulsionar a passagem do meio fermentado no rotor	Desgaste das roscas do rotor.	Desbalanceamento do equipamento gerando alta vibração do mesmo	4	Desgaste abrasivo por excesso de sujeira depositada nas paredes internas do rotor	7	3	84	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		4 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Anel de fechamento		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de Controle
Anel de fechamento	Evitar que a base e os pratos não se separem fechar o corpo do rotor.	Desgaste de fretting na Chave prensa prato	Devido à alta vibração e as batidas da chave há um afrouxamento da chave no encaixe da porca, ocasionando em uma abertura ou fechamento do anel ineficiente.	4	Vibração do conjunto	10	2	80	Análise de Vibração
					Falta de lubrificação	5	4	80	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		5 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Anel de fechamento		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Anel de fechamento	Evitar que a base e os pratos não se separem fechar o corpo do rotor.	Afrouxamento da porca borboleta do prensa prato	Pequeno vazamento de vinho e aumento de vibração, onde o equipamento é desligado.	3	Vibração da Centrífuga	10	4	120	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		6 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Mangueira de óleo		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Mangueira de óleo	Garantir a passagem de óleo do conjunto Carter para o conjunto rotor	Ruptura da mangueira de óleo	Vazamento de grande quantidade de óleo pela mangueira e o item físico é desligado.	5	Fratura por fadiga do material devido à vibração da centrífuga	2	2	20	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO			Rotor		7 de 29
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Anel de vedação		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Anel de vedação	Vedar os espaços (folgas) nos flanges e tampa do rotor	Desgaste da borracha de vedação	Vazamento em pouca quantidade de vinho e fermento	3	Presença de partículas abrasivas na peça	7	5	105	Análise de vibração
			Travamento da rosca		Desgaste devido ao atrito da borracha com a rosca	8	5	120	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO _ FMEA DE PROCESSO			Rotor		8 de 29
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Tampa do rotor		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Tampa do rotor	Proteção do rotor para a separação do fermento com o vinho através da rotação dos eixos horizontal e vertical	Desgaste da bucha	Desalinhamento do rotor e desbalanceamento da bucha ocasionando pequeno vazamento de óleo.	2	Desgaste abrasivo devido à movimentação do eixo do rotor.	1	2	4	Análise de Vibrações
					Desgaste abrasivo devido às impurezas trazidas pelo vinho	8	4	64	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	9 de 29
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Tampa do roto		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de Controle
Tampa do rotor	Proteção do rotor para a separação do fermento com o vinho através da rotação dos eixos horizontal e vertical	Desgaste da tampa do rotor	Desalinhamento do rotor, vazamento de pequena quantidade de meio fermentado.	4	Desgaste abrasivo devido às impurezas trazidas pelo vinho	8	4	128	Análise de vibrações
					Envelhecimento natural do material	3	-	12	-
					Falta de lubrificação	5	2	40	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		10 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Tampa do rotor		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Tampa do rotor	Proteção do rotor para a separação do fermento com o vinho através da rotação dos eixos horizontal e vertical	Erosão da tampa do Rotor	Aparecimento de furos na tampa rotor, podendo causar ruptura do mesmo.	8	Desgaste abrasivo devido às impurezas trazidas pelo vinho	7	8	448	Inspeção visual
					Desgaste abrasivo por alta vibração do conjunto do rotor	7	4	224	Análise de vibrações

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS				
FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO			Rotor	
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Corpo do rotor		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Corpo do Rotor	Separação do fermento com o vinho através da rotação dos eixos horizontal e vertical	Erosão do Rotor	Aparecimento de furos no rotor e acessórios, ocasionando um grande vazamento de óleo.	8	Desgaste abrasivo devido às impurezas trazidas pelo vinho	7	8	448	Inspeção visual
					Desgaste por fretting pela alta vibração do conjunto do rotor	7	8	448	Análise de vibrações

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO				Rotor	
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Conjunto de pratos		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Conjunto de Pratos	Separar o líquido denso do líquido leve	Fissuras nos pratos	Empenamento dos pratos, desbalanceando o equipamento.	7	Envelhecimento do material	3	-	21	-
			Diminuição de rendimento.		Desgaste abrasivo por alta vibração da máquina	7	2	42	Análise de Vibrações

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO			Rotor		
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	13 de 29
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Conjunto de pratos		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Conjunto de Pratos	Separar o líquido denso do líquido leve	Ruptura das abas	Perda no rendimento global do equipamento pelo grande aumento de vibração Possibilidade remota de quebra de rolamento	7	Alta vibração do conjunto de pratos	5	2	70	Análise de vibrações

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha nº
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		14 de 29
SISTEMA	FMEA nº:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Conjunto de pratos		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Conjunto de Pratos	Separar o líquido denso do líquido leve	Incrustação nos pratos	Possível contaminação do fermento por bactérias e impurezas pela incrustação formada ao redor dos pratos.	4	Alta vibração do conjunto de pratos	6	2	48	Análise de Vibrações
					Limpeza ineficaz dos pratos	1	2	8	Inspeção visual
					Desgaste abrasivo devido às impurezas trazidas pelo vinho	5	2	40	Análise de Vibrações

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO			Rotor		
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	Data:
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Distribuidor		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Distribuidor	Distribuição dos dois meios fermentados	Desgaste do distribuidor	Desbalanceamento do conjunto do rotor	8	Vibração do conjunto rotor	10	2	160	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO			Rotor		
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	Data:
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Pára-choque		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		
Centrifuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Pára-choque	Absorver o impacto das rotação do conjunto rotor	Desgaste do pára-choque	Aumento dos índices de vibração do equipamento.	2	Desgaste abrasivo proveniente de uma distribuição irregular de partículas sólidas no pára-choque	3	6	36	Análise de vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO			Rotor		17 de 29
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Distribuidor		26/02/2016
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Distribuidor	Distribuição dos dois meios fermentados (vinho e fermento)	Erosão no distribuidor	Desbalanceamentos do distribuidor aumentam a vibração do conjunto rotor	5	Abrasão do vinho em estado bruto	7	7	245	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		18 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Bicos de saída		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Bicos de saída	Garantir à passagem a saída de vinho	Entupimento dos bicos de saída ovais	Ocorre uma diminuição do volume de saída de vinho para a dorna volante	9	Existência de pequenas partículas de impurezas no vinho em estado bruto	10	1	90	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		19 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Bicos de saída		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Bicos de saída.	Garantir à passagem a saída de vinho.	Ruptura dos bicos de saída ovais.	Ocorre uma diminuição do volume de saída de vinho para a dorna volante.	9	Vibração da estrutura de sustentação dos bicos de saída ovais.	10	1	90	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		20 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Bicos de saída		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Bicos de saída	Garantir à passagem a saída de vinho	Desgaste do pino guia e chaveta	Pequeno vazamento de vinho e possível contaminação de fermento por partículas presentes no alojamento dos bicos	6	Abrasão ao vinho	4	1	24	Inspeção visual
					Desbalanceamento da centrífuga em alta vibração	8	2	48	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		21 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Bicos de saída		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Bicos de saída	Garantir à passagem a saída de vinho	Ruptura da bucha inferior	Aumento da vibração do conjunto rotor, diminuição do volume de passagem de vinho, fazendo com que o motor trabalhe mais.	7	Desgaste devido à abrasão ao vinho e fermento	8	3	168	Análise de Vibração
					Fadiga do material	2	6	84	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO				
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Bicos de saída		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Bicos de saída	Garantir à passagem a saída de vinho	Desgaste na bucha inferior	Embuchamento do conjunto rotor	7	Desgaste devido à abrasão ao vinho e fermento	8	3	168	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		23 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Conjunto rotor		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Conjunto rotor	Garantir à passagem a saída de vinho	Desbalanceamento do conjunto rotor	Rupturas, desgaste em componentes acoplados ao conjunto rotor	7	Vibração do conjunto rotor	8	2	112	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		24 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Jogo de juntas		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Eixo Rotor.	25/02/2016	-		29/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Jogo de juntas	Garantir a vedação da máquina	Afrouxamento dos parafusos das flanges das juntas.	Pequeno vazamento de vinho e fermento, podendo até ocorrer à fundição do equipamento.	8	Vibração da tubulação ocasionada pelo rotor	5	6	240	Análise de Vibração
					Envelhecimento natural do material	2	-	16	-

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO <input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		25 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Rolamentos		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		29/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Conjunto de Rolamentos	Reduzir o atrito mecânico dos eixos rotativos	Desgaste do rolamento	Alta vibração podendo ocasionar a ruptura do rolamento, parada de máquina e desalinhamento da mesma.	8	Falta de lubrificação no rolamento do motor	2	4	64	Inspeção visual
					Desgaste ocorrido por tempo de uso	8	5	320	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		26 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Rolamentos		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor	25/02/2016	-		29/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Conjunto de Rolamentos	Reduzir o atrito mecânico dos eixos rotativos	Ruptura do rolamento	Parada da operação de centrifugação	8	Falta de lubrificação no rolamento do motor	2	4	64	Inspeção visual
					Desgaste do rolamento	8	5	320	Inspeção visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA	Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
X FMEA DE PROJETO __ FMEA DE PROCESSO		Rotor		27 de 29
SISTEMA	FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA	2016001	Rolamentos		
EQUIPAMENTO	Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor.	25/02/2016	-		29/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de controle
Conjunto de Rolamentos	Reduzir o atrito mecânico dos eixos rotativos	Afrouxamento do rolamento em seu encaixe	Aumento de vibração da máquina, e ruptura do rolamento	4	Ajuste indevido, com muita folga.	3	8	96	Inspeção Visual
					Vibração dos eixos vertical e o horizontal	7	7	196	Análise de Vibração

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha n°
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO	<input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		28 de 29
SISTEMA		FMEA n°:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Boquilhas de descarga		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Ações Recomendadas
Boquilhas de descarga	Auxiliar na separação do fluído em processo	Ruptura das boquilhas de descarga	Aumento de vibração do conjunto rotor e redução do desempenho operacional do equipamento	7	Envelhecimento natural do material	2	-	14	-
					Entupimento das boquilhas por corrosão	10	2	140	Inspeção Visual

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

FMEA		Área Industrial	Subsistema	Equipe:	Folha nº
<input checked="" type="checkbox"/> FMEA DE PROJETO	<input type="checkbox"/> FMEA DE PROCESSO		Rotor		29 de 29
SISTEMA		FMEA nº:	Componente	Coordenado por:	
SEPARAÇÃO E DESCARGA		2016001	Boquilhas de descarga		
EQUIPAMENTO		Início do FMEA	Revisão		Data:
Centrífuga SM 100/ Conjunto Rotor		25/02/2016	-		26/02/2016

Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeitos	S	Causa da Falha	O	D	NPR	Itens de Controle
Boquilhas de descarga	Auxiliar na separação do fluído em processo	Desgaste das boquilhas de descarga	Aumento de vibração do conjunto rotor e redução do desempenho operacional do equipamento	7	Montagem incorreta	2	5	70	Inspeção Visual
					Entupimento das boquilhas por corrosão	10	2	140	Inspeção Visual

APÊNDICE F – PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS

PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS			N° 001
SISTEMA		Equipe:	Folha n°
SEPARAÇÃO E DESCARGA			1 de 5
SUBSISTEMA		N° FMEA	
ROTOR		2016001	
EQUIPAMENTO		Revisão	Data:
Centrífuga SM100/ Conjunto Rotor		-	02/03/2016

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO					DIAGRAMA DE DECISÃO					SELEÇÃO TAREFA DA MANUTENÇÃO					
		A	B	C	D	E	H	S	E	O	1	2	3	4	5	SELEÇÃO	TAREFA
1. Não produzir duas frações resultantes do meio fermentado.	Afrouxamento da porca borboleta do prensa prato.	N	N	S	S	N	N	N	N	S	S	-	-	-	-	Manutenção Preditiva	Inspeção visual para identificar vazão de vinho do interior do prensa prato, ajustar as porcas.
	Desgaste da borracha de vedação	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção visual das condições da borracha de vedação, verificar se não estão com rachaduras, fissuras, princípios de corrosão ou deformações.
	Desgaste da tampa do rotor	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	S	-	-	-	Recuperação Periódica	Inspeção da tampa do rotor para identificar desalinhamentos e desgaste.
	Erosão da tampa do Rotor	N	N	S	S	N	N	-	-	-	N	S	-	-	-	Recuperação Periódica	Análise de vibração do rotor para identificar o início de erosões e trincas.
	Fissuras nos pratos	S	N	N	N	N	S	S	-	-	N	S	-	-	-	Recuperação Periódica	Inspeção visual dos pratos para identificação de fissuras nos pratos.
	Incrustação nos pratos	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	S	-	-	-	Recuperação Periódica	Inspeção visual para identificar incrustações iniciais nos pratos. Limpar os pratos após cada ciclo de turnos.

PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS

SISTEMA SEPARAÇÃO E DESCARGA		Equipe:		Folha n° 2 de 5
SUBSISTEMA		N° FMEA	Elaborado por:	
EQUIPAMENTO Centrífuga SM100/ Conjunto Rotor		2016001		Data: 02/03/2016
		Revisão		
		-		

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO					DIAGRAMA DE DECISÃO										SELEÇÃO TAREFA DE MANUTENÇÃO	
		A	B	C	D	E	H	S	E	O	1	2	3	4	5	SELEÇÃO	TAREFA	
1Não produzir duas frações resultantes do meio fermentado.	Ruptura das abas	S	N	N	N	N	S	S	-	-	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção visual para identificação de fissuras nas abas. Substituir as abas	
	Erosão do rotor	N	S	N	S	N	S	-	-	S	N	S	-	-	Recuperação periódica	Análise de vibração para identificação de erosões no rotor. Inspeção do eixo do rotor para identificar possíveis desalinhamento.		
	Desgaste do distribuidor	N	S	N	N	N	S	N	-	S	S	-	-	-	Manutenção Preditiva	Análise de vibração para identificação de erosões e desalinhamento no distribuidor.		
	Erosão no Distribuidor	N	N	S	S	N	N	-	-	-	-	S	-	-	Recuperação periódica	Inspeção visual das condições do distribuidor, observar se existe desgaste por abrasão no mesmo.		
	Desgaste nas roscas do Rotor	N	S	N	N	N	S	N	-	S	S	-	-	-	Manutenção Preditiva	Inspeção visual para verificar condições de desgastes em todas as roscas que envolvem o rotor		

PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS

SISTEMA SEPARAÇÃO E DESCARGA											Equipe:					Folha nº			
SUBSISTEMA											Nº FMEA		Elaborado:					3 de 5	
EQUIPAMENTO Centrífuga SM100/ Conjunto Rotor											Revisão					Data:			
											-					02/03/2016			

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO					DIAGRAMA DE DECISÃO										SELEÇÃO TAREFA DE MANUTENÇÃO	
		A	B	C	D	E	H	S	E	O	1	2	3	4	5	SELEÇÃO	TAREFA	
2.Desempenho reduzido da máquina para a separação do fermento presente no vinho, conforme as especificações, por variáveis diversas.	Corrosão no interior do anel.	N	N	S	N	N	S	N	N	S	S	-	-	-	-	Recuperação periódica	Inspeção visual para identificar o início de corrosões no interior do anel Proteger o material com um revestimento orgânico (pintura) para inibição da corrosão	
	Desgaste no anel de fechamento	S	N	N	N	N	S	S	-	-	S	-	-	-	-	Manutenção Preditiva	Inspeção visual para verificar a existência de desgaste no anel de fechamento bem como princípios de corrosão ou deformações. Limpar o anel de fechamento a cada ciclo de turnos	
	Desgaste de fretting na chave prensa prato	N	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Substituir a chave prensa prato.	
	Ruptura da mangueira de óleo	N	S	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção visual para detecção de início de trincas na mangueira causadas por deformação plástica.	
	Desgaste da bucha	N	N	S	S	N	N	-	-	-	N	N	N	N	N	---	Inspeção visual para identificar desgaste na bucha.	
	Entupimento dos bicos de saída ovais.	N	S	N	N	N	S	N	N	S	S	-	-	-	-	Manutenção Preditiva	Inspeção para verificar a vazão de saída de vinho pelos bicos de saída. Medir o valor da corrente em mA que passa pelo motor para avaliar as condições de operação da máquina. Limpeza dos bicos de saída ovais a cada parada.	

PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS

SISTEMA SEPARAÇÃO E DESCARGA		Equipe:		Folha n° 4 de 5
SUBSISTEMA		N° FMEA	Elaborado por:	
EQUIPAMENTO Centrífuga SM100/ Conjunto Rotor		2016001		Data:
		Revisão		02/03/2016
		-		

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO					DIAGRAMA DE DECISÃO										SELEÇÃO TAREFA DE MANUTENÇÃO	
		A	B	C	D	E	H	S	E	O	1	2	3	4	5	SELEÇÃO	TAREFA	
2 Desempenho reduzido da máquina para a separação do fermento presente no vinho, conforme as especificações, por variáveis diversas.	Ruptura da bucha inferior	N	S	N	N	N	N	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção visual para detecção de início de trincas na bucha inferior. Substituir bucha inferior	
	Desgaste na bucha inferior	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção visual para identificar desgaste na bucha inferior.	
	Desbalanceamento do conjunto rotor	S	N	N	N	N	S	S	-	-	S	-	-	-	-	Manutenção Preditiva	Análise de vibração para detecção de desbalanceamento do conjunto rotor.	
	Desgaste do rolamento	N	S	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeccionar os rolamentos do Carter de acionamento quanto às marcas, coloração e descascamento.	
	Ruptura do rolamento	N	S	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção geral dos rolamentos quanto a desgastes e início de trincas, bem como verificar o nivelamento do equipamento. Lubrificar os rolamentos dianteiros e traseiros com lubrificante SAE 90 com aditivo EP.	

PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS

SISTEMA SEPARAÇÃO E DESCARGA	Equipe:		Folha n° 5 de 5
	N° FMEA	Elaborado por:	
SUBSISTEMA	2016001		Data: 02/03/2016
	Revisão		
EQUIPAMENTO Centrífuga SM100/ Conjunto Rotor	-		

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO					DIAGRAMA DE DECISÃO										SELEÇÃO TAREFA DE MANUTENÇÃO	
		A	B	C	D	E	H	S	E	O	1	2	3	4	5	SELEÇÃO	TAREFA	
2 Desempenho reduzido da máquina para a separação do fermento presente no vinho, conforme as especificações, por variáveis diversas.	Afrouxamento do rolamento em seu encaixe	N	N	S	S	N	S	-	-	-	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção para verificação geral dos rolamentos quanto às condições de balanceamento do conjunto rotor. Inspeção do nível de graxa no mancal da carcaça	
	Desgaste das boquilhas de descarga	N	S	N	N	N	S	N	N	S	N	S	-	-	-	Recuperação Periódica	Limpeza das boquilhas de descarga	
	Ruptura das boquilhas de descarga	N	S	N	N	N	S	N	N	S	S	-	-	-	-	Manutenção Preditiva	Inspeção visual das boquilhas para detecção de início de fissuras e corrosão. Inspeção para a verificação da vazão do vinho deleverado.	
	Ruptura dos bicos de saída ovais	N	S	N	N	N	S	N	N	S	S	-	-	-	-	Manutenção Preditiva	Inspeção visual para detecção de início de trincas ou deformações nos bicos de saída ovais. Inspeção para a verificação da vazão do vinho deleverado.	
	Desgaste do pino guia e chaveta	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Inspeção visual para identificar desgaste, corrosão ou deformações do pino guia e chaveta. Substituir pino guia e chaveta.	
	Desgaste do Pára-choque	N	S	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	-	-	Substituição Periódica	Análise de vibrações para avaliar as condições gerais do conjunto rotor, bem como o seu balanceamento. Substituir Pára-choque	

APÊNDICE G – PLANO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

PLANO DE MANUTENÇÃO MCC					N° 001
Elaborado por:			Versão: 01		
Equipamento: Centrífuga SM100			Área de Manutenção: Subsistema funcional - Centrifugação		
Local de instalação: Linha de Centrifugação			Safra: AA/AA		
Sistema: Separação e descarga			Data da próxima revisão: DD/MM		
Subsistema: Conjunto Rotor			Data: 26/03/2015		
N° FMEA: 2016001			Folha 1 de 4		
TAG	COMPONENTE	TAREFA	FREQUÊNCIA PREVISTA	RESPONSÁVEL PELA TAREFA	TEMPO MÉDIO PARA PARADA
	Anel de fechamento	Inspeção visual para identificar o início de corrosões no interior do anel.	2000 H	Operador	20 min
	Anel de fechamento	Proteger o material com um revestimento orgânico (pintura) para inibição da corrosão	4320 H	Mecânico	1H
	Anel de fechamento	Inspeção visual para verificar a existência de desgaste no anel de fechamento como princípios de corrosão ou deformações.	2160 H	Operador	20 min
	Anel de fechamento	Limpar o anel de fechamento a cada ciclo de turnos	24 H	Operador	30 min
	Prensa Prato	Reaperto de porcas soltas que seguram as laterais do prensa prato	168 H	Operador	20 min
	Prensa Prato	Inspeção visual para identificar vazão de vinho do interior do prensa prato	168 H	Operador	20 min
	Anel de vedação	Inspeção visual das condições da borracha de vedação, verificar se não estão com rachaduras, fissuras, princípios de corrosão ou deformações.	168 H	Operador	20 min
	Mangueira de óleo	Inspeção visual para detecção de início de trincas na mangueira causadas por deformação plástica.	2160 H	Mecânico	20min
	Corpo do rotor	Análise de vibração para identificação de erosões no rotor.	7900 H	Terceirizado	-
	Corpo do rotor	Inspeção do eixo do rotor para identificar desalinhamento.	7900 H	Terceirizado	-

PLANO DE MANUTENÇÃO MCC					N° 001
Elaborado por:			Versão: 01		
Equipamento: Centrífuga SM100			Área de Manutenção: Substema funcional - Centrifugação		
Local de instalação: Linha de Centrifugação			Safra: AA/AA		
Sistema: Separação e descarga			Data da próxima revisão: DD/MM		
Substema: Conjunto Rotor			Data: 26/03/2015		
N° FMEA: 2016001			Folha 2 de 4		
TAG	COMPONENTE	TAREFA	FREQUÊNCIA PREVISTA	RESPONSÁVEL PELA TAREFA	TEMPO MÉDIO PARA PARADA
	Tampa do rotor	Inspeção visual para identificar desgaste na bucha.	2160 H	Operador	20 min
	Tampa do rotor	Recuperação periódica, ajustar o diâmetro de encaixe.	7900 H	Terceirizado	-
	Tampa do rotor	Substituir bucha	8000 H	Mecânico	50 min
	Tampa do rotor	Inspeção da tampa do rotor para identificar desalinhamentos e desgaste.	2160 H	Mecânico	20 min
	Tampa do rotor	Análise de vibrações do rotor para identificar o início de erosões e trincas.	7900 H	Terceirizado	-
	Conjunto de pratos	Inspeção visual para identificação de fissuras nas abas.	4000 H	Operador	20min
	Conjunto de pratos	Inspeção visual para identificar incrustações iniciais nos pratos.	2160 H	Operador	20 min
	Conjunto de pratos	Limpeza dos pratos após cada parada de ciclo dos turnos	24 H	Operador	30 min
	Roscas do rotor	Inspeção visual para verificar condições gerais de desgastes em todas as roscas que envolvem o rotor	7900 H	Mecânico	20 min
	Distribuidor	Inspeção visual no distribuidor, observar se existe desgaste por abrasão no mesmo.	168 H	Mecânico	20 min
	Distribuidor	Análise de vibração para identificação de erosões e desalinhamento no distribuidor.	7900 H	Terceirizado	-

PLANO DE MANUTENÇÃO MCC					N° 001
Elaborado por:			Versão: 01		
Equipamento: Centrífuga SM100			Área de Manutenção: Substema funcional - Centrifugação		
Local de instalação: Linha de Centrifugação			Safra: AA/AA		
Sistema: Separação e descarga			Data da próxima revisão: DD/MM		
Substema: Conjunto Rotor			Data: 26/03/2015		
N° FMEA: 2016001			Folha 3 de 4		
TAG	COMPONENTE	TAREFA	FREQUÊNCIA PREVISTA	RESPONSÁVEL PELA TAREFA	TEMPO MÉDIO PARA PARADA
	Pára-choque	Análise de vibrações para avaliar as condições gerais do conjunto rotor, bem como o seu balanceamento.	7900 H	Terceirizado	-
	Bicos de saída ovais	Inspeção visual para detecção de início de trincas ou deformações nos bicos de saída ovais.	4 H	Operador	Não necessita de paradas
	Bicos de saída ovais	Inspeção para a verificação da vazão do vinho delevurado.	2H	Departamento de Qualidade	Não necessita de paradas
	Bicos de saída ovais	Inspeção para verificar a vazão de saída de vinho bruto pelos bicos de saída	2H	Departamento de Qualidade	Não necessita de paradas
	Bicos de saída ovais	Medição da corrente em mA que passa pelo motor para avaliar as condições de operação da máquina.	8H	Operador	Não necessita de paradas
	Bicos de saída ovais	Limpar os bicos de saída ovais	24 H	Operador	30 min
	Conjunto rotor	Realizar a manutenção anualmente de acordo com as especificações do equipamento	8640 H	Terceirizado	-
	Pino Guia e chaveta	Substituir pino guia e chaveta.	---	Mecânico	30 min
	Pino Guia e chaveta	Inspeção visual para identificar desgaste, corrosão ou deformações do pino guia e chaveta.	4700 H	Mecânico	30 min
	Bucha inferior	Inspeção visual para detecção de início de trincas na bucha inferior.	2160 H	Mecânico	20 min

PLANO DE MANUTENÇÃO MCC					N° 001
Elaborado por:			Versão: 01		
Equipamento: Centrífuga SM100			Área de Manutenção: Subsistema funcional - Centrifugação		
Local de instalação: Linha de Centrifugação			Safra: AA/AA		
Sistema: Separação e descarga			Data da próxima revisão: DD/MM		
Subsistema: Conjunto Rotor			Data: 26/03/2015		
N° FMEA: 2016001			Folha 4 de 4		
TAG	COMPONENTE	TAREFA	FREQUÊNCIA PREVISTA	RESPONSÁVEL PELA TAREFA	TEMPO MÉDIO PARA PARADA
	Bucha inferior	Substituir bucha inferior	8000 H	Mecânico	30 min
	Bucha inferior	Inspeção visual para identificar desgaste na bucha inferior.	2160 H	Mecânico	20 min
	Conjunto de rolamentos	Inspeção do nível de graxa no mancal da carcaça.	8460 H	Mecânico	20 min
	Conjunto de rolamentos	Inspeção para verificação geral dos rolamentos quanto às condições de balanceamento do conjunto rotor.	7900 H	Mecânico	20 min
	Conjunto de rolamentos	Inspeccionar os rolamentos do Carter de acionamento quanto às marcas de coloração e descascamento.	7900 H	Mecânico	20 min
	Conjunto de rolamentos	Inspeção geral dos rolamentos quanto a desgastes e início de trincas, bem como verificar o nivelamento do equipamento.	8460 H	Mecânico	20 min
	Conjunto de rolamentos	Lubrificar os rolamentos dianteiros e traseiros com lubrificante SAE 90 com aditivo EP.	800 H	Mecânico	30 min
	Boquilhas de descarga	Limpeza das boquilhas de descarga	24 H	Operador	30 min
	Boquilhas de descarga	Inspeção para a verificação da vazão do vinho delevurado	2H	Departamento de Qualidade	Não necessita de paradas
	Boquilhas de descarga	Inspeção visual das boquilhas para detecção de início de fissuras e corrosão.	24 H	Operador	20 min

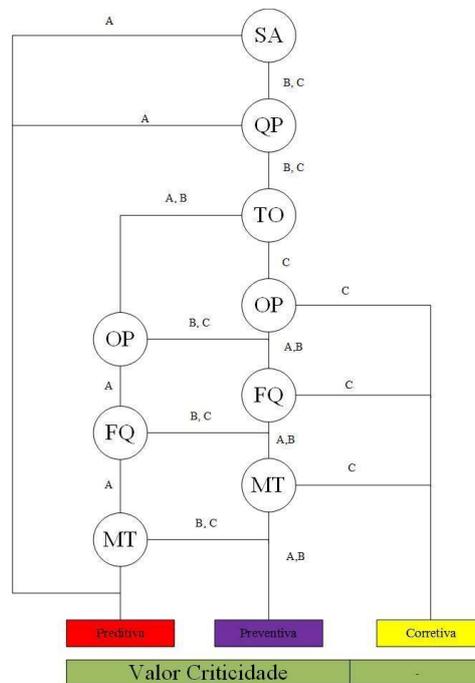
ANEXOS

ANEXO A – Questionário aplicado para associação do efeito da falha do equipamento no processo produtivo baseado no software Universo Sigma (2015).

A parada repentina do equipamento provoca:		
Segurança e meio ambiente (SA)		
() Acidentes pessoais, Agressões ao MA e danos materiais	() Exposição ao risco de acidente ao MA ou patrimônio	() Nenhum Risco
Qualidade e Produtividade (QP)		
() Produtos com defeito, redução da velocidade da Produção	() Variação da qualidade ou produtividade	() Não afeta
Taxa de ocupação (TO)		
() 24 horas por dia	() Dois turnos ou horário administrativo	() Ocasionalmente ou não faz parte do processo produtivo
Oportunidade de Produção		
() Cessa todo o Processo	() Cessa parte do processo	() Não afeta
Frequência de quebra (FQ)		
() Intervalo menor que 06 meses	() Em média 01 vez ao ano	() Raramente acontece
Mantabilidade (MT)		
() O tempo e/ou custos dos reparos são elevados	() O tempo e/ou custos dos reparos são suportáveis	() O tempo e/ou custos dos reparos são irrelevantes

Legenda: A: Preditiva ; B: Preventiva ; C: Corretiva .

Fonte: Adaptado, Universo Sigma (2015).

DIAGRAMA DE CRITICIDADE


Fonte: Adaptado, Universo Sigma (2015).

ANEXO B - Terminologia

Itens Físicos – Subsistema “B” Destilaria

- IF – 01 Agitador mecânico
- IF – 02 Bomba Centrífuga COI-D
- IF – 03 Bomba Centrífuga COI-EL
- IF – 04 Bomba Centrífuga INI
- IF – 05 Bomba Centrífuga Vinhaça
- IF – 06 Centrífuga (1) DX309
- IF – 07 Centrífuga (2) DX309
- IF – 08 Centrífuga (3) SM100
- IF – 09 Centrífuga (4) DX309
- IF – 10 Centrífuga (5) SCM 95
- IF – 11 Cubas de tratamento
- IF – 12 Dornas de Fermentação
- IF – 13 Spray
- IF – 14 Tanque de armazenamento pulmão
- IF – 15 Tubulação de drenagem do tanque de água
- IF – 16 Tubulação de fermento entre a centrífuga e a cuba de tratamento
- IF – 17 Tubulação de meio fermentado entre a dorna e o tanque pulmão
- IF – 18 Tubulação de vinho entre a centrífuga e a volante
- IF – 19 Válvula da linha de sucção da bomba INI
- IF – 20 Válvula de alimentação de vinho
- IF – 21 Válvula de entrada de vinho no tanque pulmão
- IF – 22 Válvula de intertravamento da dorna
- IF – 23 Volante

Itens de Controle – Sistema Destilaria

- IC-01 CLP
- IC-02 Medidor de corrente elétrica das centrífugas – estabelecer a mensuração da amperagem
- IC-03 Medidor de vazão
- IC-04 Transmissor de pressão - indicador de nível de tanque
- IC-05 Transmissor PT100 - sensor de temperatura.
- IC-06 Válvula de alimentação

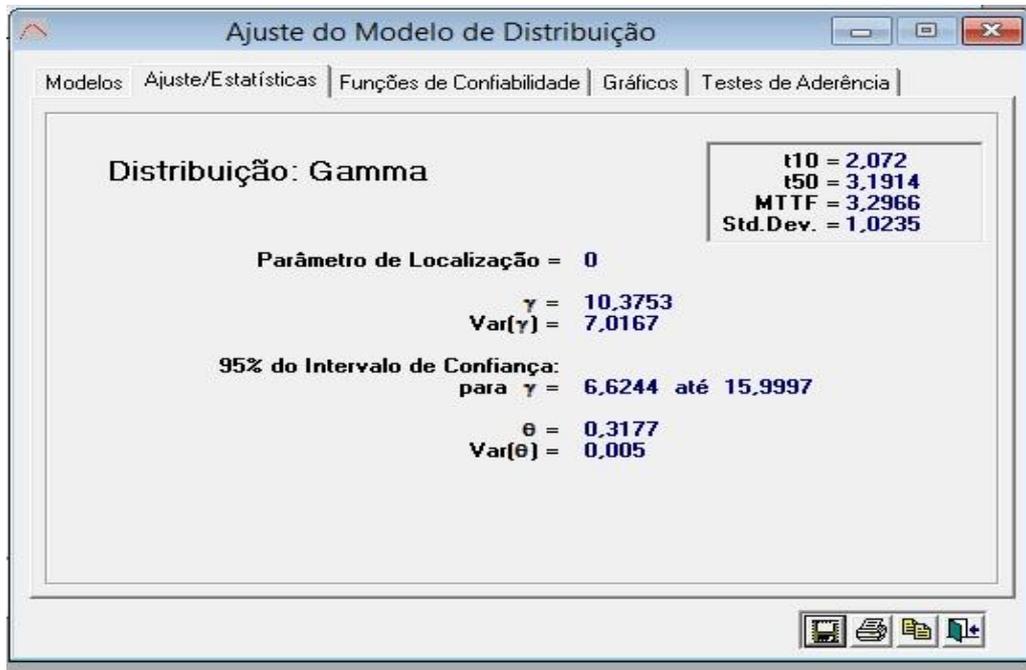
ANEXO C – Tempos até falha ajustados pelo Software Proconf2000

Obs.	Tempo até a Falha
1	1,0893
2	1,8862
3	1,9416
4	2,1323
5	2,2306
6	2,4341
7	2,4396
8	2,5108
9	2,5348
10	2,677
11	2,6837
12	2,7232
13	2,7808
14	2,8263
15	2,8447
16	2,8485
17	2,8935
18	2,9229
19	2,9836
20	3,1249
21	3,3112
22	3,3416
23	3,3688
24	3,4588
25	3,5256
26	3,5457
27	3,5568
28	3,6559
29	3,6928
30	3,8648
31	3,9092
32	4,0236
33	4,0818
34	4,3182
35	4,3272
36	4,4004
37	4,7065
38	4,9185
39	5,3769
40	5,6555

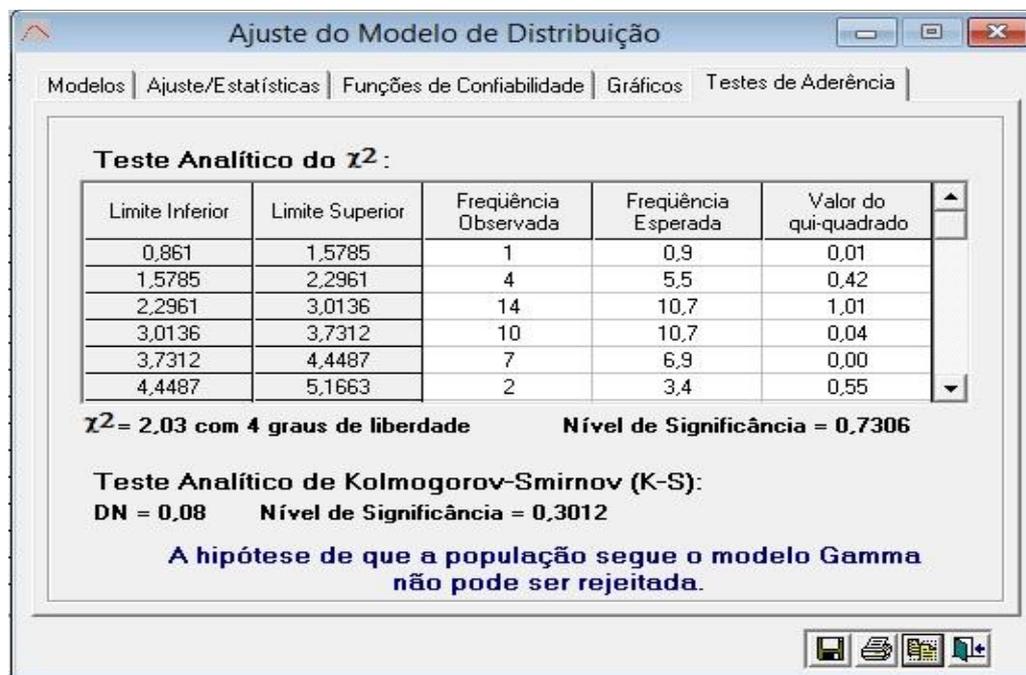
Fonte: Adaptado, dados obtidos através do Software ProConf 2000.

DADOS DE FALHA
Tamanho da Amostra: 40
Número de Falhas: 40
Amostra Completa
Parâmetro de Localização: 0

Fonte: Elaborada pela Autora



Fonte: Software ProConf 2000.



Fonte: Software ProConf 2000.

ANEXO D – Resultados obtidos das funções de confiabilidade para o equipamento Centrífuga SM100

N	Tempo	Confiabilidade	Densidade Acumulada de Falha	Densidade de Probabilidade	Taxa de Falha
1	0	1	0	0	0
2	0,1165	1	2,45E-12	1,00E-08	1,00E-08
3	0,2331	1	2,33E-09	4,82E-07	4,82E-07
4	0,3496	1	1,12E-07	6,84E-06	6,84E-06
5	0,4662	1	1,60E-06	4,94E-05	4,94E-05
6	0,5827	1	1,16E-05	2,31E-04	2,31E-04
7	0,6993	0,9999	5,55E-05	7,99E-04	7,99E-04
8	0,8158	0,9998	1,98E-04	0,0022	0,0022
9	0,9324	0,9994	5,70E-04	0,0051	0,0052
10	1,0489	0,9986	0,0014	0,0105	0,0105
11	1,1655	0,997	0,003	0,0192	0,0192
12	1,282	0,9941	0,0059	0,0321	0,0323
13	1,3986	0,9895	0,0105	0,0499	0,0504
14	1,5151	0,9825	0,0175	0,0728	0,0741
15	1,6317	0,9725	0,0275	0,1006	0,1034
16	1,7482	0,959	0,041	0,1327	0,1384
17	1,8648	0,9416	0,0584	0,168	0,1785
.....
50	5,7109	0,0203	0,9797	0,0336	1,6523
.....
100	11,5383	5,52E-08	1	2,42E-07	4,3925

Fonte: Resumo dos dados obtidos através do software Pro Conf 2000.

ANEXO E - Índices de Severidade, Ocorrência e Detecção.

Efeito	Critério de Severidade	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alta quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação da centrífuga e/ou envolve não conformidade com as especificações do fabricante sem aviso prévio	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alta quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação da centrífuga e/ou envolve não conformidade com as especificações do fabricante com aviso prévio	9
Muito alto	Máquina/item inoperável com perda das funções primárias	8
Alto	Máquina/item operável, mas com nível de desempenho reduzido.	7
Moderado	Máquina/item operável, mas com itens (s) acoplados inoperáveis (is).	6
Baixo	Máquina/item operável, mas com item (s) acoplado operável (is) com nível de desempenho reduzido.	5
Muito baixo	Itens: Forma, Acabamento e Vedação/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado pela maioria dos operadores	4
Menor	Itens: Forma, Acabamento e Vedação/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por metade dos operadores	3
Muito menor	Itens: Forma, Acabamento e Vedação/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por operadores acurados.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Fonte: Adaptado, *Ford Motor Company*, (1995).

Probabilidade de ocorrência	Probabilidade de falha	Escore
Remota: a falha é improvável	< 1 em 1500.000	1
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 150.000	2
	1 em 15.000	3
Moderada: falhas ocasionais	1 em 2000	4
	1 em 400	5
	1 em 80	6
Alta: falhas frequentes	1 em 20	7
	1 em 8	8
Muito Alta: falhas persistentes	1 em 3	9
	>1 em 2	10

Fonte: Adaptado, Carpinetti (2010).

Detecção	Probabilidade de detecção	Índice
Quase Impossível	Absoluta certeza de não detecção	10
Muito Remota	Controle provavelmente não irá detectar	9
Remota	Controles têm poucas chances de detectar	8
Muito Baixa	Controles têm poucas chances de detectar	7
Baixa	Controles podem detectar	6
Moderada	Controles podem detectar	5
Moderadamente Alta	Controles têm boas chances de detectar	4
Alta	Controles têm boas chances de detectar	3
Muito Alta	Controles certamente irão detectar	2
Quase certa	Controles certamente irão detectar	1

Fonte: Adaptado Carpinetti, (2010).

ANEXO F - Diagrama de Decisão da MCC

