

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Julio Cesar Reis do Nascimento

**PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADA NOS PRECEITOS DA
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM
PROCESSO DE PRODUÇÃO DE REFRIGERANTES**

Porto Alegre
2014

Julio Cesar Reis do Nascimento

**PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADA NOS PRECEITOS DA
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM
PROCESSO DE PRODUÇÃO DE REFRIGERANTES**

Dissertação submetida ao programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração de Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. José Luis Duarte Ribeiro, PhD.

Porto Alegre

2014

Julio Cesar Reis do Nascimento

**PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADA NOS PRECEITOS DA MANUTENÇÃO
CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE
REFRIGERANTES**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora
designada pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Ph.D.
Orientador PPGEP / UFRGS

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Ph.D.
Coordenador PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D. (PPGEP/UFRGS)

Prof. Hélio Dorneles Etchepare, Dr. (UNIVATES)

Prof. Michel José Anzanello, Ph.D. (PPGEP/UFRGS)

**“Dedico este trabalho aos meus pais por
tudo que eles representam na minha
vida.”**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar saúde, força, fé, perseverança, e permitir a realização deste sonho.

Agradeço ao professor Ribeiro pela orientação e conhecimentos compartilhados, sempre muito prestativo e compreensivo, a quem eu admiro muito.

Ao senhor Nelson presidente da empresa pelo conhecimento e sabedoria compartilhados e pela confiança depositada em mim, o meu muito obrigado.

A Aline Diretora por fazer da Fruki uma das melhores empresas para se trabalhar, permitindo um ambiente favorável a implantação de novas ferramentas e metodologias.

Aos meus colegas envolvidos que contribuíram com conhecimento e experiência para realização deste trabalho.

A Caroline pela motivação e incentivo, meu agradecimento.

Ao amigo e praticamente irmão, Ricardo, pelo incentivo, força, apoio e aquela conversa amiga nos momentos de desânimo.

Aos meus pais, Constantino e Gerci, meu eterno agradecimento, pelos valores que me foram dados, por proporcionar o alicerce para a formação do meu caráter e por sempre fazerem o máximo para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu irmão, colega engenheiro, e minha cunhada pelo incentivo, compreensão, motivação e palavras positivas.

Ao meu sobrinho e minha sobrinha, futuros engenheiros, pelo incentivo e motivação.

Ao Adriano leal pela motivação e contribuição.

Enfim, gostaria de agradecer imensamente a todos que me auxiliaram na elaboração deste trabalho.

A todos, o meu muito obrigado!

NASCIMENTO, J. C. R. **Plano de manutenção baseado nos preceitos da MCC em um processo de produção de refrigerantes.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

Este trabalho apresenta um método de elaboração e aplicação de um plano de manutenção baseado nos preceitos da MCC aplicado em uma indústria de bebidas. O método contempla: *i)* Escolher o processo a ser estudado e realizar levantamento de dados; *ii)* identificar os conjuntos e subconjuntos que impactam na confiabilidade; *iii)* levantar a taxa de falhas desses subconjuntos; *iv)* desenvolver uma FMEA para levantamento dos maiores riscos associados ao equipamento em estudo e *v)* estabelecer planos de ação da manutenção mais adequado, visando à redução dos riscos levantados na FMEA. A aplicação da proposta é ilustrada através de um estudo real realizado em um processo de envase de uma linha de produção de refrigerantes. A aplicação do método permitiu identificar com precisão os conjuntos e subconjuntos que tinham maior impacto na confiabilidade do equipamento em questão. Entre os principais resultados obtidos, destacam-se: *i)* ampliação do faturamento em cerca de um milhão por ano, *ii)* ampliação da satisfação e moral das pessoas, *iii)* redução do uso de horas extras, *iv)* redução de 10% no descarte de produtos não conformes, *v)* possibilidade de adiar em cerca de um ano investimentos de ampliação da linha, e *vi)* redução dos níveis de estoque, uma vez que existe maior grau de certeza de que o item vai manter sua função pelo período estabelecido.

Palavras-chave: Manutenção centrada em confiabilidade, plano de manutenção, *FMEA*, disponibilidade e confiabilidade.

NASCIMENTO, J. C. R. **Proposta de um plano de manutenção baseado nos preceitos da MCC em um processo de produção de refrigerantes.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This paper presents a method for preparation and application of a maintenance plan based on precepts of the MCC applied in a beverage industry. The method comprises: i) Choose the process to be improved and perform data collection; ii) identify assemblies and sub-assemblies that impact on reliability; iii) compute the failure rate of these sub-assemblies; iv) develop a FMEA for computation of major risks associated with the equipment under study and v) establishment of an action plan comprising the most appropriate maintenance activities, aimed at reducing the risks estimated by the FMEA. The implementation of the proposal is illustrated by a study performed in a real process of packaging in a production line of soft drinks. The application of the method allowed identifying more accurately the assemblies and sub-assemblies that had the greatest impact on the reliability and availability of the equipment in question. Among the main results obtained we emphasize: (i) the expansion of sales in about a million a year, (ii) greater satisfaction and morale of the employees, (iii) reduction of overtime, (iv) reduction of 10% in non-compliant products, (v) possibility of postpone expansion investments in about a year, and (vi) reduction of inventory levels, since there is greater certainty that the item will keep your function for the established period.

Keywords: Reliability-centered maintenance, maintenance plan, FMEA, availability, and reliability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Curva da banheira. Fonte: Cabral, 2006.	30
Figura 4.0: Fluxo do processo de produção.....	53
Figura 4.1: Disponibilidade dos principais equipamentos da linha.....	54
Figura 4.3: TMEF dos principais equipamentos..	55
Tabela 4.1: Conjuntos e subconjuntos do processo de envase	57
Figura 4.4: Tmpr dos Subconjuntos do processo de envase.....	57
Figura 4.5: TMEF dos Subconjuntos do processo de envase.....	58
Figura 4.6: Disponibilidade dos Subconjuntos do processo de envase	58
Figura 4.7: Disponibilidade 2013 e 2014	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Conjuntos e subconjuntos do processo de envase	57
Tabela 4.2: Função e padrão de desempenho dos subconjuntos	61
Tabela 4.3: Níveis de severidade com descrição e escala	62
Tabela 4.4: Número de falhas por ano e escala de ocorrência	63
Tabela 4.5: Nível de detecção, descrição e escala	64
Tabela 4.6: FMEA dos subconjuntos	65
Tabela 4.7: Plano de manutenção proposto	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abraman – Associação Brasileira de Manutenção

FAA – *Federal Aviation Authority*

FMEA – Análise de modos e efeitos de falha

FMECA – Análise de modos, efeitos e criticidade de falhas

IHM – Interface homem máquina

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MFMEA – *Machine Failure Mode and Effect Analysis*

MSG-1 – *Maintenance Steering Group*

MTBF – Tempo médio de bom funcionamento

MTTR – Tempo médio para reparo

OEE – Índice de eficiência global dos equipamentos

RCM – *Reliability-Centered Maintenance*,

TMDR – Tempo médio de reparo

TMEF – Tempo médio entre falhas

TMPR – Tempo médio para reparo

TPM – Manutenção produtiva total

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. COMENTÁRIOS INICIAIS	12
1.2. TEMA E OBJETIVOS	15
1.3. JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS	16
1.4. MÉTODO.....	17
1.5. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO.....	23
2.2. EVOLUÇÕES DA MANUTENÇÃO.....	25
2.3. TIPOS DE MANUTENÇÃO	26
2.3.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	27
2.3.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA	28
2.3.3. MANUTENÇÃO PREDITIVA	30
2.3.4. MANUTENÇÃO DE MELHORIA	32
2.4. CONFIABILIDADE	33
2.5. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) OU <i>RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)</i>.....	37
3. METODOLOGIA PROPOSTA PARA ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADA NOS PRECEITOS DA MCC EM UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE REFRIGERANTES	45
3.1. SELEÇÃO DO SISTEMA OU EQUIPAMENTO	46
3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS	47
3.3. ANÁLISE FUNCIONAL DOS SUBCONJUNTOS	47

3.4. ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA	48
3.5. ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO	49
3.6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	50
4. ESTUDO DE CASO - RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1. ESCOLHA DO SISTEMA OU EQUIPAMENTO.....	54
4.2. IDENTIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS	56
4.3. ANÁLISE FUNCIONAL DOS SUBCONJUNTOS	59
4.4. ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA	61
4.5. ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO	68
4.6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	74
5. CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS	81

1. INTRODUÇÃO

1.1. COMENTÁRIOS INICIAIS

Na década de 70, a crise do petróleo modificou as regras gerais de concorrência no mercado internacional, obrigando as empresas a aumentar em eficiência em seus processos operacionais e de gestão, a fim de sobreviverem. Em 2008, a crise financeira nos Estados Unidos, envolvendo a quebra do banco Lehman Brothers, acentuada em 2011 com a crise nos países europeus, provocou uma recessão global. Essa recessão aumentou a competitividade entre as empresas, obrigando-as a reduzir os desperdícios e melhorar sua eficiência (JUNICO et al., 2013). Cresce, então, a necessidade para melhorar a performance de produtos e sistemas e reduzir custos operacionais. Uma forma de atingir esses objetivos é reduzindo a ocorrência de falhas em sistemas produtivos (LEWIS, 1996).

No Brasil, com a globalização da economia, o país se inseriu em uma nova realidade comercial, caracterizada pela queda de barreiras alfandegárias, concorrência acirrada com empresas do mundo inteiro, novas tecnologias, novos produtos, novas exigências, alterando o comportamento das empresas (JUNICO et al., 2013).

Nos últimos anos, é crescente o apelo pela qualidade dos produtos e serviços buscando a fidelização dos clientes. No que se refere ao produto, essa fidelização do cliente acontece quando o produto atende o desempenho esperado das características técnicas ao longo do tempo. Essa necessidade levou as empresas a aumentar continuamente a confiabilidade dos seus produtos e processos para se manterem competindo no mercado (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; BERGAMO, 1997).

Para contribuir com o crescimento da economia nacional, o mercado produtivo brasileiro, o setor industrial e os processos produtivos, devem estar alinhados entre si. Assim,

as empresas de fabricação, sejam elas pequenas, médias ou grandes, devem atribuir maior importância ao planejamento dos seus processos, incluindo a implementação de programas e profissionais especializados em manutenção, com o objetivo de reduzir ou evitar perdas de produção por sucessivas paralizações (GONÇALVES, 2012). Assim, a manutenção passa a ser obrigada a absorver novas tecnologias, inclusive no gerenciamento, de forma mais ampla, envolvendo aspectos como terceirização, controle de custos, ferramentas da qualidade, procedimentos, indicadores, controles estatísticos, manutenções preditivas e nas relações com as partes interessadas (VERRI, 2007; NASCIF; DORIGO, 2009).

Takahashi e Osada (1993) defendem o gerenciamento orientado para o equipamento, compreendido em todos os níveis de gestão, destacando que a confiabilidade, a segurança, a manutenção e as características operacionais do processo de fabricação são imprescindíveis para alcançar qualidade, quantidade e custo coerentes com as exigências provocadas pelas mudanças da sociedade contemporânea.

A manutenção passa a ser uma função estratégica voltada para os resultados da organização, não apenas repara os equipamentos no menor tempo, mas mantém a função operacional, aumentando sua disponibilidade e confiabilidade, além de reduzir a probabilidade de uma parada não planejada. A confiabilidade pode ser melhorada com um bom programa de manutenção (NASCIF; DORIGO, 2009; MÁRQUEZ et al., 2009; PINTO; NACIF, 2001).

Atualmente, a gestão da manutenção nas empresas exige de seus gestores conhecimentos sobre várias disciplinas, incluindo os conceitos básicos de manutenção, planejamento, gestão de pessoas e engenharia geral de máquinas, entre outras, pois é preciso levar em consideração aspectos como segurança, proteção ambiental, qualidade e motivação do pessoal, para citar alguns. A manutenção tem como objetivo encontrar o ponto de

equilíbrio entre o custo e o benefício que maximize sua contribuição para a rentabilidade da empresa (CABRAL, 2006).

Para Nascif e Dorigo (2009), no cenário de poucos recursos, é imprescindível que os gestores de manutenção dominem a arte da priorização na alocação dos mesmos. O atendimento deve ser ágil, ser realizado por pessoas capacitadas, deve ter uma engenharia estruturada que identifique e bloqueie as causas básicas, e possuir planos preventivos e preditivos adequados a fim de evitar as intervenções e aumentar o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF). Uma estratégia efetiva de manutenção reduz os custos e melhora os resultados de segurança em função da redução de hora-homem exposto ao risco com menos intervenções.

De acordo com Mendes (2011), visando melhorar sua competitividade através da evolução da gestão da manutenção dos equipamentos, as organizações passaram a implantar programas de manutenção, como Manutenção Produtiva Total (TPM) ou Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a abordagem sistemática e racional dos programas de MCC tem-se apresentado como uma forma eficiente na função manutenção, contribuindo para o alcance da excelência nas atividades de manutenção.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) tem como objetivo garantir que um sistema ou item execute suas funções de acordo com o esperado. A aplicação da MCC permite otimizar as atividades de manutenção através da análise das consequências das falhas operacionais, reduzir os custos de manutenção preventiva, mão-de-obra e materiais (RAUSAND, 1998; LAFRAIA, 2001; SIQUEIRA, 2005; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

1.2. TEMA E OBJETIVOS

Frente à crescente necessidade de se aumentar a competitividade das plantas industriais em uma economia contemporânea globalizada, a busca pela eficiência e confiabilidade dos processos e produtos é a rotina diária dos gestores de produção e manutenção.

Observa-se que a confiabilidade passa a ser um requisito essencial no processo de gestão. Sendo assim, o tema desta dissertação é a Manutenção Centrada em Confiabilidade, abordada de uma perspectiva quantitativa.

Esta dissertação tem como objetivo principal conhecer de forma mais profunda a MCC, utilizando seus preceitos, a fim de revisar e elaborar um plano de manutenção, melhorando a assertividade das estratégias para cada conjunto, subconjunto e itens de um equipamento. Espera-se, dessa forma, melhorar a produtividade de uma linha de produção de bebidas em embalagens pet (Polietileno Tereftalato), que é objeto de estudo. Os resultados esperados com o presente trabalho são: *i*) avaliar a disponibilidade da linha e do equipamento, *ii*) medir o tempo médio entre falhas dos conjuntos, *iii*) medir o tempo médio de reparo das falhas e *iv*) propor uma estratégia de manutenção baseada nos preceitos de MCC, como forma de melhorar a disponibilidade e de otimizar a utilização da capacidade instalada dessa linha de produção.

Utilizando como base os preceitos do MCC, buscou-se conhecer o comportamento dos equipamentos, seus conjuntos e subconjuntos, em relação à ocorrência de falhas e, assim, estabelecer estratégias de manutenção que contribuam para reduzir a incidência de falhas, reduzir o período médio de reparo das falhas, aumentando a confiabilidade e disponibilidade do equipamento.

1.3. JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS

Segundo Verri (2007), o gasto total com manutenção nas empresas brasileiras, gira em torno de 4% do faturamento bruto, de acordo com o tipo de indústria, segundo publicação feita pela Associação Brasileira de Manutenção (Abraman), em seu “Documento Nacional de 2005”. Quando considerada a relação do gasto de manutenção com o custo de processamento, este percentual aproxima-se de 20%. Isso deixa clara a importância da função manutenção nas indústrias do país.

A principal justificativa para o tema proposto está relacionada à importância da gestão da manutenção para aumentar a competitividade da empresa em estudo. Essa empresa está inserida em um mercado competitivo globalizado, em que a confiabilidade tem impacto significativo na produtividade, nos custos operacionais, na segurança das pessoas e no meio-ambiente, além de garantir a entrega dos produtos em um mercado sazonal. Assim, aprofundar o conhecimento dos programas de MCC permitirá revisar e elaborar um plano de manutenção mais eficiente, com estratégias de manutenção mais assertivas, o que possibilitará identificar os equipamentos críticos, seus conjuntos, subconjuntos e itens que mais impactam no resultado da disponibilidade. Assim, para cada um deles, será possível, junto com a equipe de produção e manutenção, e suas lideranças, elaborar estratégias que permitam reduzir, eliminar ou prevenir a ocorrência de falhas.

Outro ponto importante diz respeito às pessoas. No processo de elaboração das estratégias, ocorrerá também o desenvolvimento de ações para melhorar a capacitação dos técnicos de manutenção, operadores técnicos e operadores de máquinas, além de aumentar a interação, o respeito e o engajamento entre eles.

Em função da importância da manutenção, este foi o tema do estudo aplicado descrito neste trabalho. A empresa onde o estudo foi realizado é uma empresa familiar da

indústria de bebidas do Rio Grande do Sul, produtora de refrigerantes, bebida mista e envase de água mineral, onde o gasto anual de manutenção passa de R\$ 3 milhões, o que exige um esforço maior para melhorar a qualidade e eficiência da atividade de gerenciamento da manutenção.

A elaboração das estratégias de manutenção envolvendo o conhecimento e as experiências das pessoas de maneira sistematizada permite a empresa evitar gastos desnecessários, investindo energia e recurso onde realmente influencie no alcance dos resultados.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é aprofundar o conhecimento em MCC, a fim de revisar e elaborar um plano de manutenção adequado às necessidades competitivas. Isso permitirá o aumento da disponibilidade da linha, tendo em vista a oportunidade oferecida por um mercado crescente de consumo de bebidas não alcoólicas. A aplicação deste estudo se dará em uma linha de produção de bebidas com capacidade de produção de 12.000 garrafas por hora na empresa Bebidas Fruki S.A, localizada na cidade de Lajeado, estado do Rio Grande do Sul.

1.4. MÉTODO

Do ponto de vista acadêmico, toda pesquisa aplicada exige a realização de uma revisão da literatura, comparação com outros estudos de casos de empresas de diferentes segmentos, desenvolvimento ou adequação de métodos ao processo em estudo. Isso realimenta a teoria, permitindo a ela uma evolução contínua e tornando-a mais ampla, facilitando inclusive pesquisas futuras.

Quanto a sua natureza, o presente trabalho pode ser classificado como pesquisa aplicada, onde se busca gerar conhecimentos para a aplicação prática orientados para a

solução de problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2005; VERGARA, 1998), no caso do desenvolvimento das práticas de gestão da manutenção.

De acordo com Thiollent (2004), este estudo pode ser classificado como uma pesquisa-ação, pois a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social, empírica, realizada juntamente com uma ação para solução de um problema, com a participação direta de uma pessoa ou grupo de pessoas no problema sob observação. Para Gil (2010), a pesquisa-ação é a metodologia utilizada para desenvolver grupos, organizações e comunidades, com o propósito de proporcionar a aquisição de conhecimentos claros, precisos e objetivos, visando alcançar resultados práticos. Neste sentido, o presente trabalho busca estudar o comportamento de um processo, com o intuito de gerar ações para melhorar os resultados da organização.

Esta pesquisa pode ser classificada como preponderantemente quantitativa, do ponto de vista de sua abordagem. É considerada pesquisa quantitativa o estudo que pode ser quantificável, traduzido em números, a partir de opiniões e informações, permitindo sua classificação e análises (SILVA; MENEZES, 2005). No caso deste estudo, serão quantificados tempos entre falhas, frequência de falhas e tempos de reparo. Assim, é classificada como uma pesquisa de enfoque quantitativo, pois, de acordo com Sampieri et al. (2006), a pesquisa de enfoque quantitativo utiliza medições numéricas, coleta e análise de dados, para estabelecer com maior exatidão o comportamento de uma população. Por fim, pode, ainda, ser classificada como uma pesquisa descritiva, pois, de acordo com o mesmo autor, a pesquisa descritiva consiste em descrever situações, acontecimentos e feitos, esclarecer como um fenômeno se manifesta, descrevendo as características e os perfis de pessoas, grupos, comunidades ou qualquer fenômeno em análise. Neste estudo é realizada a descrição e registro dos fatos, buscando interpretar e analisar o comportamento dos equipamentos, a ocorrência de falhas e o impacto desses modos falhas.

O estudo foi realizado em uma empresa familiar com 90 anos de existência, que teve seu crescimento acentuado nos últimos cinco anos. Seu desempenho lhe rendeu a posição de terceira colocada em volume de refrigerantes no Estado, ficando atrás apenas das multinacionais do ramo.

Atualmente, tem em seu portfólio a Fruki Guaraná, o guaraná mais vendido na região metropolitana, e a Água da Pedra, a água mineral líder em vendas no Rio Grande do Sul, segundo a Nielsen (2014).

A escolha da linha de produção de refrigerantes para a aplicação desse estudo levou em consideração a importância da mesma para o negócio, visto que nesta linha são produzidos mais de 50% do volume total da empresa, considerando que o parque fabril é composto por sete linhas de envase. Outro fator determinante para a escolha desta linha é que, apesar da grande participação no volume total, ela apresenta uma das menores eficiências do sistema produtivo. Outro ponto importante é que a linha escolhida apresenta a maior utilização de sua capacidade instalada, o que possibilita oportunidade de ganhos consideráveis a partir da aplicação dos preceitos da MCC.

A realização deste trabalho seguiu os seguintes passos: *i)* escolha do processo a ser estudado e o levantamento de dados; *ii)* identificação dos conjuntos e subconjuntos que impactavam na confiabilidade; *iii)* levantamento da taxa de falhas desses subconjuntos; *iv)* desenvolvimento da FMEA para levantamento dos maiores riscos associados ao equipamento em estudo e *v)* estabelecimento do plano de ação da manutenção mais adequado, visando à redução dos riscos levantados na FMEA.

A escolha do processo para a aplicação do estudo, dentre os processos que compõe a linha de produção, se deu mediante levantamento de dados para identificação do processo prioritário para se agir, o qual estaria gerando maior impacto na eficiência da linha, visto que

o processo a ser escolhido fosse aquele que apresentasse o maior tempo médio de reparo e a menor disponibilidade.

Em seguida, realizou-se a identificação dos conjuntos e subconjuntos que constituíam o processo a fim de entender os itens que mais influenciavam na confiabilidade. Com o auxílio da equipe de manutenção e operação foi possível detalhar o processo ou as máquinas desse processo em conjuntos e subconjuntos.

O levantamento da taxa de falhas se deu através do estudo das paradas coletadas do banco de dados da empresa. Nesse banco havia informações que identificavam a máquina, data e hora da parada, o período de tempo da falha e uma breve descrição da causa da falha. Isso facilitou o levantamento das informações, inclusive facilitou a identificação dos conjuntos e subconjuntos. Para os itens que não apresentaram falhas no período investigado, considerou-se a disponibilidade desses itens igual a 1.

O desenvolvimento da FMEA seguiu os passos sugeridos por Fogliatto e Ribeiro (2009) para identificação dos subconjuntos, suas funções e padrão de desempenho, através da análise funcional. Em seguida, foi possível mensurar a severidade, a probabilidade de ocorrência e o nível de detecção com os controles atuais, para cada modo de falha, o que possibilitou estimar o risco resultante, produto da multiplicação da severidade, ocorrência e detecção. Isso permitiu o levantamento dos maiores riscos associados ao equipamento em estudo.

Levando em consideração os maiores riscos e facilidade das ações, foi possível o estabelecimento do plano de manutenção mais adequado para cada modo de falha. As ações contemplaram inclusive situações em que o risco não fosse tão alto, devido à facilidade das ações, permitindo um risco resultante menor ainda. Para os casos em que o risco era alto, obrigatoriamente foi realizada uma ação, ou por meio da estratégia de manutenção, ou por uma ação de melhoria, para aprimoramento da condição do subconjunto.

Em função do alto número de subconjuntos, neste trabalho, foram escolhidos, para cada conjunto, os subconjuntos que apresentavam menor disponibilidade. Para este trabalho, com base nas informações adquiridas durante o levantamento realizado para sua elaboração, considerou-se que o equipamento está no período de vida útil, sob manutenção regular, de forma que a taxa de falhas é mantida aproximadamente constante.

1.5. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O foco deste trabalho é fazer uma pesquisa sobre MCC utilizando seus preceitos para revisar e elaborar um plano de manutenção mais adequado, utilizando como subsídios, bibliografias, estudos de casos já realizados em outras empresas, banco de dados, com informações sobre as paradas, da empresa em estudo, além de entrevistas com pessoas com experiência nesses equipamentos e que atuam na empresa.

Este trabalho não busca esgotar as pesquisas sobre o assunto, mas, sim, criar uma base de informações que permita a utilização da MCC como ferramenta para melhorar a disponibilidade dos equipamentos e da linha em estudo. Assim, permitirá determinar a disponibilidade dos equipamentos, o tempo médio de bom funcionamento, o tempo médio de reparo e os impactos das falhas, possibilitando a definição da melhor estratégia de manutenção.

Para os itens em que as informações históricas não apresentam acuracidade, foi utilizado como subsídio o conhecimento das pessoas envolvidas, técnicos de manutenção e operadores de máquina, para a determinação das periodicidades das atividades de manutenção.

O estudo limita-se à linha de produção de bebidas de garrafas Pet com velocidade de 12 mil garrafas por hora. Assim, não contemplará outras linhas de produção, ficando essas abertas a novos trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta um referencial bibliográfico contendo: *i*) definição e importância da manutenção; *ii*) evolução da manutenção e *iii*) tipos de manutenção. Em seguida, o capítulo traz os conceitos de confiabilidade, manutenção centrada em confiabilidade (MCC) e FMEA – análise dos modos de falhas e efeitos, a fim de facilitar o entendimento dos capítulos seguintes.

2.1. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

A Globalização da economia elevou a exigência por produtos mais eficientes a custos mais competitivos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Assim, à medida que a economia mundial passa por dificuldades, a exigência por maior competitividade, redução de custos e a busca da utilização dos equipamentos existentes até o limite de sua capacidade crescem em importância (VERRI, 2007).

Na maioria das plantas industriais, a manutenção atua de forma reativa, utilizando atividades corretivas ou preventivas mal planejadas e ineficientes (DESHPAND; MONDAK, 2001). Para Kardec et al. (2002), em um cenário globalizado altamente competitivo, em que as mudanças são frequentes no processo produtivo, a manutenção precisa assumir uma postura proativa. A manutenção existe para que não haja manutenção, ou seja, o pessoal de manutenção deve ser especialista, ter conhecimento e os equipamentos adequados para evitar falhas e não para corrigi-las.

No passado, o gerenciamento da atividade de manutenção era frequentemente deixado em segundo plano, do ponto de vista do gerenciamento, embora fosse uma área de grande oportunidade de ganhos no ramo industrial. A partir da década de 80, com o

movimento para uma era industrial caracterizada por maior automação e complexidade, a manutenção industrial viu-se obrigada a aprender a lidar com tecnologias mais sofisticadas. A atividade de gerenciamento da manutenção teve seu sentido ampliado, e passou a envolver aspectos comportamentais, terceirização, controle de custos, ferramentas da qualidade, procedimentos, indicadores, controles estatísticos, manutenção preditiva, relações com clientes e fornecedores, além da complexidade maior desencadeada pela valorização da segurança no trabalho (VERRI, 2007; PINTO; NASCIF, 2001).

Para Cabral (2006), os conceitos *Just-in-Time* e Qualidade Total não evoluem em um ambiente onde a manutenção é mal estruturada ou ausente. Esses conceitos de produção exigem da manutenção técnicas mais evoluídas, que permitam extrair dos equipamentos a disponibilidade necessária para responder aos novos desafios e, assim, aumentar a utilização dos recursos. Considerada por muitos anos um mal necessário, atualmente, se reconhece a importância da função manutenção para a atividade industrial, através da sua contribuição para a qualidade do produto, segurança, relações interpessoais, imagem da empresa, preservação dos investimentos e resultado global da empresa.

Em um cenário em que havia alta incidência de falhas e problemas nas fábricas, as decisões, em muitos casos, no passado e no presente, eram tomadas na base do sentimento e do medo, o que contribuía para os altos custos de manutenção das plantas industriais, baixa confiabilidade e baixa disponibilidade dos equipamentos, acarretando em aumento do custo global de fabricação (VERRI, 2007).

As atividades de manutenção devem ser realizadas de forma que contribuam para que o processo de fabricação alcance seus objetivos, que usualmente são expressos em termos da melhoria da produtividade, garantia da qualidade, redução de custos, atendimento ao prazo de entrega, segurança, proteção ambiental e aumento da motivação das pessoas. Para obter uma visão sistemática dessas atividades, é necessário investigar a confiabilidade dos

equipamentos, buscando aumentar a eficácia de sua utilização, bem como sua manutenibilidade e suportabilidade (TAKAHASHI; OSADA, 1993).

2.2. EVOLUÇÕES DA MANUTENÇÃO

A definição da palavra manutenção é o ato ou o efeito de manter. Porém, sua origem advém do conceito militar de Manu + Tener, ou seja, ter a mão, que na filosofia contemporânea quer dizer garantir a disponibilidade (KARDEC et al., 2002).

A história da manutenção pode ser dividida em aproximadamente três gerações distintas: Primeira Geração - Mecanização; Segunda Geração - Industrialização; Terceira Geração - Automação. A primeira geração, ocorrida aproximadamente no período de 1940 a 1950, foi marcada por equipamentos simples e superdimensionados para sua aplicação, em que a manutenção realizada era de caráter corretivo para reparação de falhas. A segunda geração ocorre entre 1950 a 1975. O aumento da demanda exige mais do sistema produtivo, cobrando da manutenção técnicas que aumentasse a disponibilidade dos equipamentos; nesse período inicia a aplicação de manutenção preventiva e preditiva. A terceira geração evolui a partir de 1975, frente às exigências impostas pela automação do sistema produtivo e pela incapacidade das técnicas anteriores de oferecer um melhor desempenho aos seus produtos, indo além da maior disponibilidade, confiabilidade e vida útil do equipamento (PINTO; NASCIF, 2001; SIQUEIRA, 2005).

De acordo com Cabral (2006) e Xenus apud Fogliatto e Ribeiro (2009), a manutenção é um conjunto de atividades realizadas com a finalidade de manter as funções originais dos equipamentos e evitar o desgaste destes em função do tempo ou do seu uso. Assim, em um sentido mais amplo, a manutenção pode e deve, quando possível, mudar as condições originais dos equipamentos realizando melhorias a fim de reduzir ou prevenir a

ocorrência de falhas. Para Branco Filho (2006b), a manutenção pode ser definida como um conjunto de ações técnicas ou administrativas que buscam preservar o estado funcional de um equipamento ou sistema, para recolocá-los à condição funcional que possa desempenhar sua função para o qual ele foi adquirido ou projetado.

A manutenção como função estratégica, deve ter como premissa principal o resultado empresarial da organização, ser eficaz, e não apenas eficiente, não apenas reparar o equipamento no menor tempo, mas, sim, garantir o equipamento disponível para operação, evitando uma parada de produção ou a interrupção de um serviço (KARDEC et al., 2002).

Para Bevilacqua et al. (2000), a melhor estratégia de manutenção é aquela que for mais adequada para o sistema ou item, levando em consideração, os custos, a taxa de falha, o impacto da falha, o tempo de intervenção para reabilitação e a disponibilidade de técnicos. Ou seja, cada item deve ser avaliado individualmente para decidir sobre a estratégia mais adequada, seja para deixar que a falha ocorra ou preveni-la.

2.3. TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção existente são caracterizados pela maneira como é realizada a intervenção nas máquinas, equipamentos e sistemas. Os principais tipos de manutenção são: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva, Manutenção detectiva e Engenharia de manutenção (PINTO; NASCIF, 2001). Para Lafraia (2001), existem dois tipos básicos de manutenção, a manutenção corretiva e a manutenção preventiva.

Para Pinto e Nascif (2001), os tipos de manutenção podem ser considerados como políticas de manutenção, convencionadas pela alta direção, resultado de uma avaliação técnica-econômica. Entre as ferramentas que permitem a aplicação dos seis tipos de

manutenção citados anteriormente, está: Manutenção Produtiva Total – TPM; Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC; e Manutenção Baseada em Confiabilidade – MBC.

2.3.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva pode ser considerada como a intervenção para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado. Assim, esta atuação não é necessariamente uma manutenção de emergência (PINTO; NASCIF, 2001; PEREIRA, 2009). De acordo com Lafraia (2001), a manutenção corretiva engloba todas as ações para tirar o sistema de uma condição de falha para uma condição de operação ou disponibilidade, neste caso, a frequência da falha é determinada pela confiabilidade do equipamento, e a ação corretiva não pode ser planejada. Para Siqueira (2005), a manutenção corretiva ou reativa preocupa-se em corrigir a falha que já tenha ocorrido. De acordo com Santos et. al, (2007), a manutenção corretiva é a realização de intervenções de manutenção não-planejadas para reabilitar as capacidades funcionais dos equipamentos. Além disso, considera sendo a forma mais primária e mais cara de manutenção.

No caso da manutenção corretiva, é muito importante identificar as causas fundamentais da falha para eliminá-las, evitando reincidência (SOUZA apud XENOS, 1998). Existem duas condições que permitem a manutenção corretiva: *i*) desempenho deficiente, verificado pelas variáveis operacionais e *ii*) ocorrência de uma falha, interrupção da função (PINTO; NASCIF, 2001). A manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes: *i*) manutenção corretiva não planejada e *ii*) manutenção corretiva planejada (PINTO; NASCIF, 2001; PEREIRA, 2009).

A manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de forma aleatória, intervenção da manutenção em fato ocorrido, ou desempenho deficiente. Ainda é a que ocorre

com maior frequência, implicando em altos custos, pode acarretar em perdas de produção e de qualidade do produto (PINTO, 2001; PEREIRA, 2009).

Quando a manutenção corretiva não planejada tem maior volume dentre os tipos de manutenção, a manutenção não está fazendo sua parte, e, conseqüentemente, a organização não tem uma competitividade adequada à necessidade dos dias atuais (PINTO; NASCIF, 2001).

Já a manutenção corretiva planejada é correção da falha ou do desempenho deficiente, através de uma decisão gerencial, pela atuação de um acompanhamento preditivo ou pela opção de operar até a falha, se for o caso, caracterizada principalmente pela qualidade da informação de acompanhamento do equipamento (PINTO; NASCIF, 2001; PEREIRA, 2009).

Segundo Pinto e Nascif (2001), o trabalho planejado geralmente é mais barato, rápido, seguro e de melhor qualidade. Assim, a manutenção corretiva planejada busca compatibilizar as intervenções com os interesses da produção, considerando também aspectos relacionados à segurança do pessoal e das instalações em função da falha, através da otimização do planejamento dos serviços, disponibilidade de peças e ferramentas na quantidade e no tempo certo.

2.3.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Este tipo de manutenção teve origem em 1930, na aviação, e surgiu com a necessidade de se aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos ativos empresariais (PEREIRA, 2009).

Para Lafraia (2001), Siqueira (2005) e Cabral (2006), a manutenção preventiva tem o como objetivo prevenir as conseqüências das falhas. É realizada em períodos

predeterminados, buscando a redução da probabilidade de falha (XENOS, 2004; CABRAL, 2006; PEREIRA, 2009).

De acordo com Lafraia (2001) e Xenos (2004), a manutenção preventiva é o coração das tarefas de manutenção, envolve inspeções, reformas e trocas de peças, devendo ser realizada de forma obrigatória, tem seu custo mais elevado do ponto de vista de manutenção, pois as peças não completam seu ciclo de vida, porém garante uma maior disponibilidade e confiabilidade do equipamento em relação a manutenção corretiva. Para Branco Filho (2006b), manutenção preventiva é todo serviço executado em equipamentos que não estejam em falha, ou realizado antes que a falha ocorra, em estado de operação ou defeito.

Para Pinto e Nascif (2001) e Pereira (2009), a manutenção preventiva tem como obsessão evitar que a falha ocorra, prevenindo-a, através do cumprimento de um plano previamente elaborado, imperativa em setores como aviação, por motivos de segurança. A periodicidade da manutenção preventiva deve levar em consideração as condições operacionais e ambientais dos equipamentos.

A manutenção preventiva deve ser utilizada quando não é possível a aplicação da manutenção preditiva, quando a falha oferecer riscos à segurança pessoal ou da instalação, quando há a liberação de equipamentos críticos e de difícil liberação operacional, alto risco ambiental, e sistemas complexos de operação contínua, ex. petroquímica e siderurgia (PINTO; NASCIF, 2001; PEREIRA, 2009).

Os parâmetros de distribuição do tempo para a falha dos principais modos de falha e seus efeitos, devem ser considerados para a otimização da substituição preventiva (LAFRAIA, 2001).

Para Cabral (2006), a Figura 1, conhecida como curva da banheira, mostra que no início da vida do equipamento há uma alta probabilidade de falha, chamada de período de mortalidade infantil. Esta probabilidade cai rapidamente e se mantém estável por um período

relativamente longo em que a ocorrência de falha é aleatória, depois a probabilidade volta a subir, definindo o período de desgaste. A manutenção preventiva, sob sua abordagem, seria: até o ponto M, acompanhar, sem forçar e, a partir do ponto N, atuar.

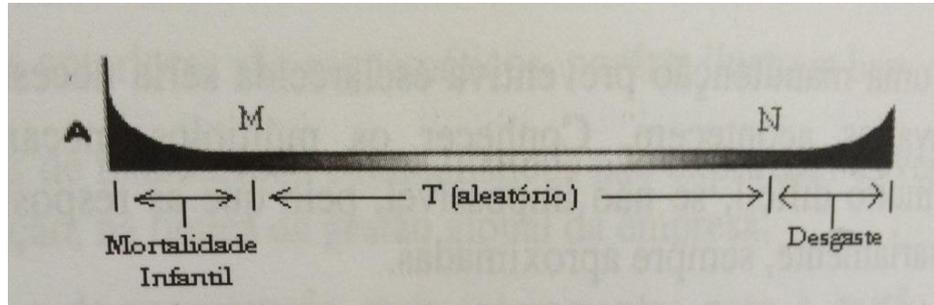


Figura 2.1: Curva da banheira. Fonte: Cabral, 2006.

Segundo Wireman (1998), existem alguns elementos que dificultam a definição da frequência de cada atividade de manutenção preventiva a ser realizada, tais como: *i*) capacitação das pessoas; *ii*) carência na atualização dos planos de manutenção ao longo da vida útil do equipamento; *iii*) inexistência do cumprimento parcial ou total do plano de manutenção; *iv*) falta de informação sobre manutenção preventiva para os técnicos de manutenção em campo; e *v*) inexistência de análises das intervenções anteriores no equipamento.

2.3.3. MANUTENÇÃO PREDITIVA

Para Siqueira (2005), a manutenção preditiva tem como objetivo prever ou antecipar a falha, monitorando fatores que indicam a evolução de uma falha a tempo de serem corrigidas. De acordo com Pereira (2009), manutenção preditiva é aquela que garante o nível de serviço desejado, com a utilização de técnicas sistematizadas de análises, através de monitoramento em tempo integral ou por amostragem, a fim de reduzir a manutenção

preventiva e reduzir a manutenção corretiva; dentre as técnicas pode-se citar a termografia e análise de vibração.

De acordo com Xenos (2004), a manutenção preditiva é simples e eficaz, traz bons resultados, deve ser adotada pelas empresas, pois com monitoramentos simples de vibração e análise de óleo lubrificante, pode-se identificar o momento apropriado para troca de rolamentos e reformas de componentes, respectivamente.

A manutenção preditiva pode ser considerada como todo trabalho de monitoramento, controle das condições de um equipamento, tarefas de inspeção e controle estatísticos para prever ou prever a proximidade de ocorrência da falha (LAFRAIA, 2001; XENOS, 2004; BRANCO FILHO, 2006b). Pinto e Nascif (2001) descrevem a manutenção preditiva como sendo a atividade realizada sob alteração de condição ou desempenho, em que o acompanhamento segue uma sistemática, com o objetivo de prevenir a falha, mantendo o equipamento em operação contínua pelo maior tempo possível até a intervenção.

A manutenção preditiva pode ser adotada quando os equipamentos oferecem as seguintes condições básicas: *i*) permitir algum tipo de monitoramento ou medição; *ii*) ser viável a execução das medições; *iii*) as causas das falhas ter sua progressão acompanhada e *iv*) permitir a sistematização de acompanhamento, análise e diagnóstico (PINTO; NASCIF, 2001).

De acordo com Pinto e Nascif (2001), a manutenção preditiva é a que oferece o melhor resultado, visto que realiza o mínimo de intervenção possível na produção, além disso, um programa de acompanhamento bem administrado tem uma relação de custo/benefício de 1/5.

A manutenção preditiva poderia trazer resultado ainda melhores se não fosse os seguintes fatores: *i*) falta de dados históricos e suas análises, crucial para uma bom plano de manutenção preditiva; *ii*) a falta de um plano de manutenção consistente adequado aos

equipamentos com tecnologia embarcada; *iii*) a falta de investimento em treinamento dos técnicos de manutenção para fazer frente as novas tecnologias; *iv*) a falta ou reduzida divulgação das vantagens e potencialidades da manutenção preditiva para organização como um todo. Dessa forma, quando a manutenção indica que um equipamento deve sair de operação para uma manutenção corretiva planejada, pois está próximo de quebrar, a área produtiva não enxerga a necessidade (WIREMAN, 1998).

Para Souza apud Wyrebski (2004), a vantagem da manutenção preditiva é tirar o máximo dos elementos da máquina durante sua vida útil podendo reformar ou substituir somente as peças comprometidas; já a sua desvantagem é a necessidade de acompanhamentos e monitoramentos através de instrumentos específicos e pessoal altamente qualificado.

2.3.4. MANUTENÇÃO DE MELHORIA

A manutenção de melhoria também é conhecida como *Kaizen* dos equipamentos, em que a palavra *Kaizen* tem origem japonesa e significa fazer melhoria continuamente. No contexto da manutenção, a manutenção de melhoria significa melhorar os equipamentos continuamente, indo além de suas especificações projetadas originalmente. Assim, não basta apenas retornar o equipamento a sua condição original após a intervenção, é preciso melhorar sua manutenibilidade, sua confiabilidade e seu desempenho, mesmo que, para isso, seja necessário alterar seu projeto e seus padrões de operação e manutenção (XENOS, 2004). Pinto e Nascif (2001) denominam esse tipo de manutenção como Engenharia de Manutenção.

Para Cabral (2006), manutenção de melhoria são alterações realizadas nos equipamentos com o objetivo de melhorar seu desempenho, adequá-lo a situações específicas, e atualização tecnológica por incorporação de novas tecnologias e características, pode-se citar, por exemplo, a automatização de uma operação ou atividade de lubrificação.

De acordo com Lima e Zaians (2003), a manutenção de melhoria pode ser aplicada nos seguintes casos: *i)* quando a vida do equipamento é curta, com alta frequência de falhas e alto custo de manutenção; *ii)* quando o tempo de reparo é elevado e existe a possibilidade de propagação da falha; *iii)* quando a dispersão do tempo médio entre falhas é grande, dificultando a avaliação e inspeção.

Conforme Palmer apud Souza (2004), uma forma de reduzir problemas simples que gerarão a necessidade de melhorias é envolver a área de manutenção no projeto de fabricação das máquinas, quando possível, e ser rigoroso na especificação técnica e na escolha dos fornecedores. Neste sentido, Xenos (2004) e Pereira (2010) atribuem a atividade conduzida em conjunto com o fornecedor no momento da fabricação do equipamento para reduzir a necessidade de manutenção durante a operação, a outro tipo de manutenção, e a chama de Prevenção da manutenção. Assim, a prevenção da manutenção é a contribuição da manutenção no aperfeiçoamento do projeto dos equipamentos com o objetivo de reduzir a probabilidade de falhas e, na ocorrência dessa, facilitar o conserto, ou seja, melhorar a confiabilidade e a manutenibilidade do equipamento.

2.4. CONFIABILIDADE

As empresas só alcançarão os resultados desejados com um sistema de gestão estratégica integrado sob uma liderança atuante, perseverante, motivadora, desafiadora e com constância de propósitos. Ferramentas como CCQ, Reengenharia, *Balanced Scorecard*, *Benchmarking*, TPM, 5S, Programa Orçamento Zero, Gerenciamento da Rotina, Gerenciamento pelas Diretrizes e outras, podem auxiliar no alcance dos objetivos, porém por si só elas não garantem. É preciso alinhamento entre as áreas da empresa e foco em um objetivo comum. A manutenção por sua vez deve aplicar seus recursos de forma que aumente

a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos imprescindíveis ao alcance dos resultados necessários, através da verificação e análise crítica dos planos de inspeção, manutenção preventiva e preditiva, para aumentar a produtividade industrial (KARDEC et al., 2002; NASCIF; DORIGO, 2009).

O termo confiabilidade na manutenção vem do Inglês *Reliability*, surgiu da análise dos equipamentos militares nos Estados Unidos na década de 50 (PINTO; NASCIF, 2001).

Para Kardec et al. (2002) e Fogliatto e Ribeiro (2009), confiabilidade é a probabilidade de que um item possa desempenhar sua função requerida, sob condições normais de uso, por um intervalo de tempo definido. A probabilidade é um conceito estatístico que pode ser descrito como a relação entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis, expresso de forma quantitativa entre 0 e 1.

A confiabilidade traduz a habilidade de desempenho de um sistema, produto ou serviço, satisfazendo o esperado durante um período de tempo (SLACK, 1999).

No conceito popular, confiabilidade pode ser definida como a qualidade ao longo do tempo. Assim, um produto confiável é aquele que é forte, que dura, ou utilizando termos mais recentes pode-se dizer que confiabilidade é a probabilidade do uso com sucesso de um produto à maneira do cliente em um intervalo de tempo, ou ainda, atenta para a missão do produto, e define confiabilidade como a probabilidade de um produto cumprir sua missão, sem falhas, sob certas condições, por um período de tempo (BERGAMO, 1997).

Kardec e Lafraia (2002), definem confiabilidade como a confiança de componente, sistema ou equipamento de executar sua função básica, durante um determinado período de tempo, sob condições preestabelecidas de operação.

A confiabilidade pode ser definida como a probabilidade que um item ou equipamento realizar sua atividade em determinada condição, por um período de tempo, ou

ainda, a capacidade de um item executar sua função específica, em condições e desempenho determinado, por um espaço de tempo (BRANCO FILHO, 2006b; PEREIRA, 2009).

De acordo com Lafraia (2001), a confiabilidade diz respeito às mudanças nas características de um item ao longo do tempo, que pode deixar de ser confiável ao longo do tempo em determinadas condições, ou ainda, falhar durante a vida útil do produto. O autor atribui à confiabilidade o aspecto de incerteza da engenharia, e que esta questão pode ser respondida com o uso da probabilidade do item falhar durante um período de tempo.

A falha pode ser definida como a incapacidade de um item atender a um padrão de desempenho previsto (PINTO; NASCIF, 2001). Para Kardec e Lafraia (2002) e Branco Filho (2006), falha, no contexto de manutenção, significa a perda de uma função requerida. De acordo com Xenos (2004), Branco Filho (2006) e Gonçalves (2012), falha é o fim da capacidade de um item de desempenhar sua função requerida, incapacidade total ou parcial de realizar sua função por um período de tempo.

A importância da falha é determinada pelo impacto que ela gera sobre o desempenho do sistema. As falhas podem ter origem variada, envolvendo desde erros de projeto, instalação, humano, de fornecimento ou de especificações indicadas por clientes (SLACK, 1999). Para Xenos (2004), existem três grandes categorias de causas das falhas: falta de resistência, uso inadequado ou manutenção inadequada.

A medição de falhas pode ser feita de três formas: (i) Taxas de falhas, em que se mede a frequência com que a falha pode ocorrer; (ii) confiabilidade, que é a probabilidade de uma falha ocorrer; e (iii) disponibilidade, que é o período de tempo útil disponível para a operação (SLACK, 1999).

De acordo com Slack (1999), taxa de falhas e confiabilidade são maneiras diferentes de medir a mesma coisa, a tendência de uma produção, ou parte dela, de falhar. Disponibilidade é uma medida das consequências da falha em uma produção. Para esse autor,

o tempo médio entre falhas é uma forma comum e alternativa para medir as falhas, mensurada da seguinte forma:

$$\text{TMEF} = \text{Horas de operação} / \text{Número de falhas} \quad (1)$$

$$\text{Disponibilidade} = \text{TMEF} / (\text{TMEF} + \text{TMPR}) \quad (2)$$

Onde TMPR = Tempo médio para reparo, que é o tempo médio para consertar quando a falha ocorre.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a disponibilidade indica a capacidade de um item de atender a sua função requerida, em condição normal de operação, por um período de tempo predeterminado. A disponibilidade de equipamentos é um indicador fundamental de confiabilidade para programas de manutenção. A confiabilidade está associada ao período de operação bem sucedida de um item ou sistema, sem a presença de quebras ou falhas.

O item pode ser considerado como um sistema, subsistema, máquina, equipamento, conjunto, componente ou peça, que possa ser revisada ou testada individualmente (BRANCO FILHO, 2006b). Já para Fogliatto e Ribeiro (2009), a definição de item depende o objetivo do estudo. Um sistema, composto por diversos componentes, pode ser considerado como um item, e em outros casos, o item é considerado como um componente do sistema, esta definição depende do nível de detalhes e aprofundamento exigido pelo estudo.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), é necessário determinar de forma precisa o que se espera de desempenho adequado do item, para especificar o modelo matemático que represente o desempenho deste item. A definição de confiabilidade implica na definição do uso pretendido do item em estudo, como, por exemplo, se será para uso doméstico ou industrial. Além disso, aspectos como período de tempo e condições ambientais implicam na definição de confiabilidade de um item.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), os conceitos de confiabilidade e qualidade são confundidos entre si, em que o período de tempo incorporado pelo conceito de confiabilidade,

é a principal diferença. Os conceitos se inter-relacionam no projeto e manufatura de um produto e em seu uso posteriormente. Para Falconi (2002), um produto confiável é aquele que tem uma probabilidade baixa de ocorrência de falhas.

A confiabilidade ganha poder quando promovida e apoiada pelas lideranças da fábrica, gerentes e supervisores. Estes devem estimular o pensamento para promover a confiabilidade e, do contrário, estariam promovendo as falhas (HANSEN, 2006).

Para Branco Filho (2006b), o tempo médio entre falhas (TMEF) e o tempo médio para os reparos (TMPR) também podem ser utilizados como índices que tratam de confiabilidade.

De acordo com Pereira (2009) e Cabral (2006) a confiabilidade tem relação direta com a chance de ocorrência de falhas durante a vida útil do equipamento, e o TMEF é o indicador utilizado para fazer esta avaliação. Já o indicador TMPR é utilizado para medir a manutenibilidade ou mantabilidade do equipamento (PEREIRA, 2009; CABRAL, 2006). Mantabilidade é a medida do grau de facilidade de se realizar um reparo em um equipamento, seguindo padrões já estabelecidos, quando submetido à manutenção (PEREIRA, 2009; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; BRANCO FILHO, 2006; LAFRAIA, 2001).

2.5. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) OU *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM)

Ao longo dos anos, a complexidade dos sistemas baseado na engenharia exige maior conhecimento de diferentes áreas, aumentando ainda mais esta complexidade. O bom desempenho nas atividades diárias depende da confiabilidade destes sistemas, entre os quais podem ser citados: sistema de transportes, comunicação e saúde, todos imprescindíveis. Esta

complexidade tem reflexo nos equipamentos produtivos de grande porte. Acidentes, como o de Seveso, Bhopal, ou Chernobyl, permanecerão na memória da humanidade por gerações, face à gravidade, envolvendo perda de vidas humanas. Por isso, entidades reguladoras se tornaram mais exigentes, com o objetivo de garantir a confiabilidade durante a vida útil desses sistemas (PEREIRA; SENA, 2012).

A MCC teve sua origem nos anos 50, nos Estados Unidos, a partir de análises de falhas em equipamentos de uso militar. Criado em 1960 pela *Federal Aviation Administration*, o grupo de estudo do governo sobre manutenção, liderado pelo então Vice-Presidente para Planejamento de Manutenção, Thomas D. Matteson, juntamente com sua equipe de engenheiros, desenvolveu o programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica, para fazer frente a necessidade de aumentar a confiabilidade dos equipamentos a um custo que fosse viável economicamente, visto que as técnicas tradicionais de manutenção não eram suficientes (MOUBRAY, 2000; PINTO; NASCIF, 2001; SIQUEIRA, 2005; KENNEDY, 2006).

A Força Tarefa ficou conhecida pela sigla MSG-1 (*Maintenance Steering Group*), a qual produziu um relatório, que se tornou um clássico da literatura sobre manutenção, introduzindo uma nova metodologia, posteriormente chamada de *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), ou Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), descrita no livro de Nowlan e Heap em 1978. Com a disseminação do MCC ocorreu o surgimento de outras versões ligeiramente diferentes dos relatórios MSG-3, entre as versões, pode-se citar a versão RCM2, que inclui questões ambientais proposta por Moubray (SIQUEIRA, 2005).

A origem da Manutenção Centrada em Confiabilidade está relacionada com a evolução dos processos tecnológico e sociais ocorrida após a segunda guerra mundial. No campo tecnológico, ela foi impulsionada pelas pesquisas em tecnologia desenvolvidas pela indústria bélica americana, viabilizadas pela evolução da informática e telecomunicações. No

campo social, a dependência da sociedade contemporânea dos métodos de produção automatizados afetou o meio ambiente e a própria segurança física dos seres humanos, exigindo que os processos de manutenção atendam também as exigências sociais e ambientais (SIQUEIRA, 2005).

Geralmente atribui-se a origem da Manutenção Centrada em Confiabilidade à necessidade da Boeing para a certificação da linha de aeronaves 747 (o Jumbo), pela FAA (*Federal Aviation Authority*) nos Estados Unidos. Esta aeronave continha um nível de automação jamais visto antes em voos comerciais, marcado ainda pelo grande número de assentos, o triplo em relação à maior aeronave existente na época. A aplicação de técnicas tradicionais conhecidas da segunda geração iria inviabilizar o cumprimento dos requisitos das autoridades aeronáuticas americanas. Isto motivou a United Airlines a rever a aplicabilidade dos métodos existentes, criando um novo conceito de manutenção, posteriormente chamado de *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). A aplicação desse método atendeu as exigências e garantiu a certificação para operação comercial, pela FAA, em 30 de dezembro de 1969 (SIQUEIRA, 2005).

Segundo Hansen (2006), a MCC é um processo sistematizado para definir o que deve ser feito para garantir que os equipamentos mantenham-se desempenhando sua função, através de estratégias de manutenção eficazes, que combinam disponibilidade, confiabilidade e qualidade do produto. Essas estratégias trazem os seguintes resultados: (i) eliminam ou reduzem a ocorrência de falhas; (ii) otimizam a manutenção preventiva; (iii) eliminam trabalhos de manutenção que não agregam valor; (iv) uso apropriado de dispositivos de segurança; e (v) o uso abrangente da manutenção preditiva.

De acordo com Lucatelli e Ojeda (2001), a MCC propõe o estudo das características de cada item e a definição das políticas de manutenção mais adequadas, de acordo com suas características e custos inerentes para restabelecer a função requerida dos equipamentos. A

aplicação dessa metodologia tem revertido em ganhos diversos sendo eles: (i) aumento da disponibilidade de itens físicos; (ii) ganhos de segurança, tanto ambiental quanto de seus mantenedores; (iii) redução de estoques de sobressalentes; (iv) além da redução da necessidade de horas trabalhadas.

Conforme Lafraia (2001), a aplicação efetiva da MCC pode render os seguintes benefícios para as empresas: (i) redução das paradas não programadas; (ii) redução do custo de manutenção e operação; (iii) redução do risco de acidentes; (iv) aumento da utilização da capacidade instalada; (v) maior flexibilidade nos processos; (vi) resposta mais rápida às oscilações de demanda; e (vii) atuação nas causas básicas dos problemas.

Para Pereira (2009), a MCC é um método que garante que o componente de um sistema mantenha suas funções, sua condição de uso com qualidade, segurança, redução de custos, e ainda, que não degrade o meio ambiente. Assim, resumidamente, MCC indica: (i) redução de manutenção preventiva por meio do foco nos pontos críticos dos equipamentos; (ii) análise de falhas, com a redução da possibilidade de ocorrência; (iii) manutenção preventiva prevendo a substituição, reduzindo a taxa de falhas; (iv) assegurar as funções do equipamento ao menor custo; (v) uso do FMEA- *Failure Mode and Effects Analysis* ou Análise dos Modos e Efeitos de falha, aplicado a manutenção.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a MCC pode ser definida como um programa com aplicação de várias técnicas de engenharia para garantir que os equipamentos de uma fábrica continuem a executar suas funções esperadas, reconhecido como a maneira mais eficiente para se atingir os resultados de manutenção. De acordo com os autores, a MCC tem como alicerce os seguintes pilares: (i) Envolvimento dos engenheiros, técnicos e operadores; (ii) ênfase no estudo das consequências das falhas; (iii) abrangência das análises, que consideram segurança, meio ambiente, operação e custos; e (iv) o combate as falhas escondidas.

De acordo com Moubray apud Fogliatto e Ribeiro (2009), a MCC deve contemplar sete questões básicas: (i) Funções de padrões de desempenho esperado dos equipamentos; (ii) de que modo os equipamentos podem falhar; (iii) identificação da causa da falha; (iv) o que acontece na ocorrência da falha; (v) qual o interesse em cada falha; (vi) como prevenir ou impedir cada falha; e (vii) o que fazer quando uma atividade proativa não pode ser estabelecida.

De acordo com Siqueira (2005), Branco Filho (2006a) e Fogliatto e Ribeiro (2009), a definição das funções e padrões de desempenho dos equipamentos é a base do programa MCC, e deve ficar claro a todos os envolvidos as funções de cada equipamento e o desempenho esperado.

Para Palady (1997), a função é tudo aquilo que deve ser feito para satisfazer o cliente. De acordo com Siqueira (2005), função é o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho determinado. Segundo Lafraia (2001), a função de um componente é toda e qualquer atividade que o item realiza do ponto de vista operacional. Para Pereira e Sena (2012), a função requerida, de acordo com a norma NP EM 13306 de 2007, é a função ou combinação de funções necessária para que um item ou sistema preste um serviço ou realize sua função ou objetivo. As funções podem ser classificadas em primárias, que corresponde aquilo para o qual o equipamento foi feito, ou funções secundárias, aquelas que vêm em segundo plano, mas que são necessárias de serem cumpridas pelo item, baixa vibração e ruído, menor consumo de energia, por exemplo (BRANCO FILHO, 2006; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). De acordo com Palady (1997), a identificação insuficiente de todas as funções pode acarretar em uma lista incompleta de modos de falha.

Os modos como os equipamentos podem falhar são aqueles que já são conhecidos, pois já ocorreram, ou aqueles que ainda não ocorreram, mas que existe a possibilidade de ocorrência, é a maneira como a falha acontece, deixa de cumprir sua função, que é percebido

pelas pessoas de manutenção e operação (SIQUEIRA, 2005; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; BRANCO FILHO, 2006; PEREIRA, 2009; LAFRAIA, 2001).

A identificação das causas de cada falha funcional deve ser realizada de forma profunda e detalhada que permita direcionar as ações na causa raiz do problema (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). De acordo com Xenos (2004), a identificação das causas fundamentais é uma das etapas mais importantes para tomar ações que possam prevenir a ocorrência de cada falha, isso exige a aplicação do conhecimento técnico e observação direta pelo pessoal de manutenção e produção.

Além da identificação das causas das falhas é fundamental saber quais as consequências da ocorrência destas falhas, assim, é preciso identificar o que acontece quando a falha ocorre, ou seja, identificar o efeito de cada falha sobre a organização (SIQUEIRA, 2005; BRANCO FILHO, 2006; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Desta forma a MCC aborda: (i) De que forma a falha é percebida; (ii) qual o tempo de interrupção quando a falha ocorre; (iii) os danos em consequência da falha, incluindo os materiais, ambientais e humano; (iv) o que é possível fazer para reparar a falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Para Pereira (2009), o efeito é a consequência do modo quando age sobre a função de um componente.

Dentre os inúmeros modos de falha possíveis em uma planta industrial, é fundamental saber de que forma cada falha interessa, pois cada um destes modos de falha tem impactos diferentes para a organização, alguns modos podem ter impacto mínimo e outros podem ter impactos relevantes que vão desde aos relacionados a segurança, produtividade, qualidade ou meio ambiente, assim, o esforço para evitar a ocorrência de cada falha deve ser proporcional a consequência dessa falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

As consequências das falhas é o aspecto-chave que direciona as ações preventivas, sua prioridade e intensidade, podem ser classificadas em cinco grupos: (i) consequências escondidas, que não tem impacto imediato, mas podem promover outras falhas de maior

impacto; (ii) consequências para segurança das pessoas; (iii) consequências ambientais, que podem degradar o meio ambiente; (iv) consequências operacionais são aquelas que interrompem a produção ou prejudicam a qualidade dela. (v) outras consequências, são aquela que não estão relacionadas nos grupos anteriores e que seu impacto é apenas o custo do reparo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Para Siqueira (2005), as consequências das falhas podem ser classificadas nos seguintes critérios: (i) impactos ambientais e de segurança, que oferecem riscos individual ou coletivo, e infringem uma lei ou padrão ambiental; (ii) impactos econômicos, é quando ocorre um gasto financeiro; e (iii) impacto operacional, depende apenas do custo e frequência da ocorrência da falha.

O passo seguinte é identificar o que pode ser feito para prevenir a ocorrência de cada falha. As tarefas para prevenir a ocorrência de cada falha podem ser chamadas de: (i) tarefas pró-ativas, são aquelas executadas antes que a falha ocorra, através das manutenções preventivas ou preditivas; (ii) as tarefas reativas, são realizadas em componentes em estado de falha, quando a tarefa pró-ativa não é viável. Assim, contempla, o componente pode rodar até a falha, procura de falhas ou redesenho de componentes (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Em seguida, a MCC propõe prever o que fazer quando não se pode estabelecer uma ação proativa pertinente nos casos em que a consequência da falha é grave e não existe a possibilidade de estabelecer uma atividade preventiva ou preditiva. Neste cenário é necessário estabelecer a procura de falhas ou o redesenho do subsistema, com a adoção de redundância e de alarmes que sinalizam a incidência da falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A FMEA, Análise de Modos e Efeitos de Falhas ou em inglês *Failure Mode and Effects Analysis*, surgiu em 1960 em um programa espacial, mais tarde passou a ser utilizada nos padrões militares. A FMEA é uma forma de identificar todas as possíveis falhas, seus efeitos sobre o sistema, a probabilidade de ocorrência e probabilidade de que a falha passe

despercebida, tendo como objetivo orientar a aplicação dos recursos para as oportunidades mais vantajosas (PYZDEK; KELLER, 2011).

A FMEA é uma ferramenta que oferece três funções diferentes: (i) como ferramenta, é uma das técnicas mais eficientes para prevenir problemas e identifica soluções mais eficazes e de baixo custo; (ii) como procedimento, é um método estruturado para avaliar, conduzir e atualizar o desenvolvimento de projeto e processo dentro de uma organização. (iii) como diário, é utilizado para registro de qualquer alteração durante a vida útil do produto, desde a concepção do projeto, processo ou serviço (PALADY, 1997).

De acordo com Siqueira (2005), a MCC utiliza a FMEA como objetivo de avaliar, formalizar, e priorizar o impacto de cada falha funcional, definindo maneiras de prevenir ou corrigir. Já a FMECA *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* é um método derivado da FMEA, o qual identifica apenas os modos de falha que são críticos que justificam as ações adicionais (SIQUEIRA, 2005).

Para Pereira (2009) e Lafraia (2001), a FMEA é uma técnica para identificar e antecipar a causa e o efeito de cada modo de falha de um sistema ou produto, amplamente utilizado nas áreas de projeto de produto e engenharia de manufatura, oferecendo os seguintes benefícios: (i) redução do tempo de ciclo de um produto; (ii) redução do custo total de projetos; (iii) redução de falhas potenciais; (iv) redução dos riscos ao consumidor; (v) metodologia utilizada para prever defeitos.

Já o MFMEA *Machine Failure Mode and Effect Analysis* é uma adaptação do FMEA à área de manutenção, é uma metodologia estruturada para identificar todos os modos de falha, todas as causas e efeitos de cada modo. Desta forma é possível alterar as características de projeto ou implementar controles para evitar a ocorrência de falhas ou paradas não programadas durante a produção (PEREIRA, 2009).

3. METODOLOGIA PROPOSTA PARA ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADA NOS PRECEITOS DA MCC EM UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE REFRIGERANTES

Conforme descrito no capítulo 2, a MCC é um processo sistematizado para definir o que deve ser feito para garantir que os equipamentos mantenham-se desempenhando sua função, através de estratégias de manutenção eficazes, que combinam disponibilidade, confiabilidade e qualidade do produto.

Também foi citado que a implantação da MCC deve contemplar as seguintes questões básicas: *(i)* Funções de padrões de desempenho esperado dos equipamentos; *(ii)* de que modo os equipamentos podem falhar; *(iii)* identificação da causa da falha; *(iv)* o que acontece na ocorrência da falha; *(v)* qual o interesse em cada falha; *(vi)* como prevenir ou impedir cada falha; e *(vii)* o que fazer quando uma atividade proativa não pode ser estabelecida.

Com base nos conceitos acima citados e dos demais descritos na revisão bibliográfica, apresenta-se a seguir uma metodologia que visa elaborar um plano de manutenção baseado nos preceitos da MCC, estabelecendo a estratégia de manutenção mais adequada para o equipamento em estudo.

Para atender aos objetivos citados, é necessário o entendimento do processo produtivo e sua relação com o sistema, conjunto ou subconjunto onde o trabalho será realizado, tendo em vista a necessidade de determinar nos conjuntos e subconjuntos em estudo: as funções, o padrão de desempenho, o modo de falha, a causa e o efeito da falha, e a estratégia de manutenção mais adequada, a fim de melhorar a disponibilidade do sistema.

O passo inicial é formar uma equipe de trabalho que ajudará na implementação da MCC. A equipe deve ser multidisciplinar, com diferentes conhecimentos e experiências sobre o equipamento, pertinentes a implementação da MCC. Para isso é necessário envolver gestores de manutenção e produção, técnicos de manutenção e operadores, além da participação de alguém com profundo conhecimento em MCC para orientar a equipe.

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a implementação da MCC em um processo produtivo deve seguir as seguintes etapas: *(i)* seleção do sistema; *(ii)* identificação dos conjuntos e subconjuntos; *(iii)* Análise funcional dos subconjuntos; *(iv)* análise dos modos de falhas e seus efeitos; *(v)* Elaboração do plano de manutenção. Essas etapas foram adotadas neste trabalho e são descritas a seguir em maior detalhe.

3.1. SELEÇÃO DO SISTEMA OU EQUIPAMENTO

Nesta etapa, é necessário que a equipe estude e analise todo o fluxo do processo produtivo, a fim compreender de que forma os sistemas se relacionam. É importante levar em consideração na escolha do sistema o grau de importância deste para a organização. O sistema pode ser considerado como uma linha de produção, uma célula de produção ou um equipamento.

Para definição do sistema, deve-se fazer um levantamento dos históricos de paradas desses sistemas e determinar a disponibilidade, TMR e TMEF, indicadores que medem o desempenho do sistema. Com base nos indicadores citados, é possível selecionar o sistema que apresenta o menor desempenho como prioridade para implantação da MCC.

3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS

Nesta etapa, o sistema é estratificado para identificação dos conjuntos e subconjuntos que o compõe. Para se ter uma visão melhor do comportamento destes subconjuntos, é necessário analisar seu histórico de falhas e determinar a disponibilidade, TMR e TMEF destes subconjuntos.

A elaboração de uma tabela e gráficos auxiliam na identificação dos subconjuntos de menor desempenho. A determinação da disponibilidade e do TMEF indicam a confiabilidade do subconjunto, enquanto o TMR indica o grau de dificuldade para reestabelecer a funcionalidade do subconjunto.

3.3. ANÁLISE FUNCIONAL DOS SUBCONJUNTOS

O objetivo desta etapa é definir as funções e o padrão de desempenho esperado para cada subconjunto. As funções podem ser classificadas em primárias e secundárias. A função primária é aquela para a qual o equipamento foi projetado, sendo mandatória a sua definição. As funções secundárias são aquelas que são levadas em consideração, porém em segundo plano, como exemplo consumo energético e geração de ruído.

Após a definição das funções, a tarefa seguinte é compreender e descrever o que é esperado de cada subconjunto no que se refere ao seu padrão de desempenho. Baseado no conhecimento e experiência da equipe, o padrão de desempenho deve ser quantificado. A Tabela 4.2 ilustra uma forma organizada de se realizar a análise funcional dos subconjuntos.

3.4. ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA

Nesta etapa, é realizada a identificação dos modos e efeitos de falha de cada subconjunto com a utilização da ferramenta FMEA – Análise de Modos e Efeitos de falha. Os modos de falhas são a causa potencial da falha funcional do subconjunto.

Para identificação dos modos e dos efeitos de falha, é imprescindível a consulta aos históricos de falhas, o envolvimento das pessoas com conhecimento e experiência nestes equipamentos, consulta às bibliografias especializadas, e também consultas a manuais e fornecedores destes equipamentos.

Para construção da FMEA, conforme ilustrado na Tabela 4.6, para cada subconjunto deve-se descrever os modos e efeitos de falhas a eles relacionados. Na coluna S deve ser estabelecido um grau de severidade para cada efeito dos modos de falha, seguindo uma escala de 1 a 10, ilustrado na Tabela 4.3, sendo 1 para baixa severidade e 10 para severidade alta.

O passo seguinte na construção da FMEA é a identificação das causas para cada modo de falha e a frequência com que estas causas ocorrem. Na coluna O, conforme Tabela 4.6, para determinação da frequência é utilizada uma escala de 1 a 10, sendo 1 para baixa frequência e 10 para alta frequência. Para facilitar a determinação da frequência na escala, sugere-se fazer a relação com a taxa de falha em um determinado período, conforme ilustrado na Tabela 4.4.

Dando continuidade à construção da FMEA, o próximo passo é levantar os controles atuais que permitem a detecção das causas ou dos modos de falhas. Para cada controle é necessário definir o nível de detecção, novamente utilizando uma escala de 1 a 10, onde 1 representa fácil detecção e 10 uma situação desfavorável para detecção. Para auxiliar na utilização da escala, é aconselhável fazer uma breve descrição do grau de detecção que o

controle pode oferecer de acordo com a escala, conforme ilustrado na Tabela 4.5. O nível de detecção deve ser registrado na coluna D, ilustrado na Tabela 4.6.

A quantificação da severidade, da ocorrência e da detecção permitem calcular o risco resultante do produto da multiplicação destes fatores, que deve ser registrado na coluna R, mostrado na Tabela 4.6. A priorização para geração de ações de melhoria e ações de manutenção deve levar em consideração os modos de falhas que apresentarem riscos acima de 80, ou então, priorizar do maior para o menor risco de acordo com os recursos disponíveis na organização. As ações de baixo custo e fácil execução devem ser realizadas mesmo com nível de risco abaixo de 80 (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

3.5. ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

A elaboração do plano de manutenção deve ser realizada em conjunto com a equipe em reuniões específicas para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para o subconjunto. Nas reuniões, todos devem opinar, respeitar e esforçar-se para entender a opinião do colega.

O plano de manutenção, conforme ilustrado na Tabela 4.7, deve contemplar: *(i)* como a falha pode ser prevenida; *(ii)* o tipo de manutenção a ser adotado; *(iii)* descrição das tarefas que compõe a manutenção e responsável por ela; *(iv)* utilização de melhorias quando possível.

A descrição de como prevenir a falha é importante para que o responsável saiba o que fazer para que o subconjunto tenha sua condição para executar sua função melhorada e mantida.

O tipo de manutenção a ser adotado vai fazer parte do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), para programar no tempo certo com todos os recursos necessários para

execução. Para garantir a correta execução dos serviços planejados a descrição das tarefas deve fazer parte de um procedimento padrão mais detalhado disponível para o técnico de manutenção ou responsável pela execução, após treinamento. Após o estabelecimento do plano de manutenção deve ser calculado o risco resultante para o novo cenário (R').

A utilização de melhoria não deixa de ser um tipo de manutenção, conforme citado no capítulo 2 deste trabalho, porém é importante destacar, visto que a aplicação de melhoria pode reduzir a necessidade de manutenção no equipamento, seja por modificação no desenho ou na condição do item.

3.6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Após o estabelecimento das ações de melhoria e do plano de manutenção, é importante acompanhar e auditar a realização das atividades propostas para garantir o resultado esperado. Assim, devem ser feitas medições contínuas de disponibilidade, TMR e TMEF destes equipamentos, conjuntos ou subconjuntos. Outro ponto importante é manter a FMEA atualizada para obter maior precisão quanto à frequência das manutenções.

4. ESTUDO DE CASO - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação da metodologia MCC foi realizada na empresa Bebidas Fruki S.A, localizada às margens da BR386 KM346 na cidade de Lajeado, situada no interior do estado do Rio Grande do Sul. A empresa é uma indústria de bebidas que produz refrigerantes, bebida mista e envasa água mineral. A organização está focada em atender o mercado gaúcho, para isso, conta com centros de distribuição e centros de vendas estrategicamente localizados em diferentes regiões do estado.

A indústria, localizada em Lajeado, onde é fabricado e envasado seus produtos, possui quatro processos básicos distintos, denominados de: (i) Injeção de preformas, (ii) Preparação de xarope para refrigerantes e bebida mista, (iii) Sopro de garrafas, e (iv) Linhas de envase, composto por sete linhas. A abordagem deste trabalho é realizada na linha de produção de refrigerantes. A seguir, será feita uma breve descrição dos principais processos citados, em função da interação entre eles.

A Injeção de preformas é o processo pelo qual as preformas são produzidas. Estas preformas são a matéria prima para a fabricação das garrafas. O processo de injeção consiste em aquecer a resina PET (polietileno tereftalato) para em seguida ela ser injetada em um molde em forma de tubo de ensaio com dimensões exatas do gargalo da garrafa. Este molde possui resfriamento para cristalização da preforma, a qual é armazenada e transportada em caixas.

A preparação de xarope é composto por duas etapas. A primeira etapa é a preparação do xarope simples, composto por água e açúcar. O xarope simples é produzido a partir a dissolução do açúcar em água quente em um tanque de mistura. Em seguida esta solução é tratada, pasteurizada e armazenada em tanques. A segunda etapa é a preparação do xarope composto. Nesta etapa, o xarope simples é a matéria prima, a qual é misturada a outros

ingredientes que darão sabor característico das bebidas. O xarope composto é matéria prima para as linhas de fabricação de refrigerantes e bebida mista.

O sopro de garrafas utiliza a preforma como matéria prima para produzir a garrafa. A sopradora é o equipamento responsável pela realização deste processo. Este processo consiste em aquecer o corpo da preforma em um forno através de resistência elétrica, na sequência a preforma é posicionada entre duas metades do molde da garrafa, que depois é fechado ligando-se ao fundo. Neste momento uma haste de estiragem desce até o fundo do molde acompanhado de uma injeção de ar com 40 bar de pressão, expandindo a preforma, fazendo com que a mesma adquira o formato da garrafa. Esta garrafa é então transportada para a linha de envase. A sopradora está conectada em linha com o processo de envase, permitindo uma produção sincronizada entre eles.

As linhas de envase é o processo onde os produtos são preparados, através da mistura de xarope composto com água, em seguida é resfriados a 5°C para ser carbonatado e envasados nas embalagens, para o caso dos refrigerantes e bebida mista. Para o caso de envase de água mineral, quando se quer envasar água com gás, a água é resfriada e carbonatada antes do envase. Para água sem gás, apenas ocorre o envase da água que vem direto do poço.

A linha de envase abordada neste estudo é composta pelo processo de sopro, pois este está conectado em linha com processo de envase, o próprio processo de envase, a inspeção eletrônica, a rotulagem, a datadora, a envolvedora e a paletizadora.

O processo de sopro e envase ocorrem conforme já foi dito nos parágrafos anteriores. A inspeção eletrônica é um equipamento que faz a inspeção do nível em 100% das garrafas, através da aplicação de raio X. As garrafas que estiverem com o nível de bebidas fora das especificações são automaticamente retiradas do processo. A rotulagem é realizada na rotuladora, equipamento responsável pela aplicação do rótulo na embalagem com a utilização

de cola quente. Em seguida, a embalagem já com o rótulo recebe a impressão da data de validade e lote na datadora, através da aplicação de jato de tinta.

O equipamento seguinte é a envolvedora responsável por formar os pacotes com as embalagens. Nesse momento, ocorre o agrupamento das embalagens em seis ou doze unidades, para unidades de dois litros ou de 600 ml, respectivamente. Após o agrupamento das garrafas, ocorre o envolvimento das mesmas com filme plástico, passando em seguida por um forno aquecido para provocar o encolhimento do filme e dar rigidez e resistência ao pacote.

O processo seguinte é a paletização, onde a paletizadora é o equipamento responsável por acondicionar os pacotes em camadas sobre o palete. Após a colocação das camadas, o palete é envolvido com um filme plástico para promover maior estabilidade no transporte e armazenagem do produto. A figura 4.0 ilustra de forma simplificada o fluxo do processo de fabricação com as etapas descritas anteriormente.

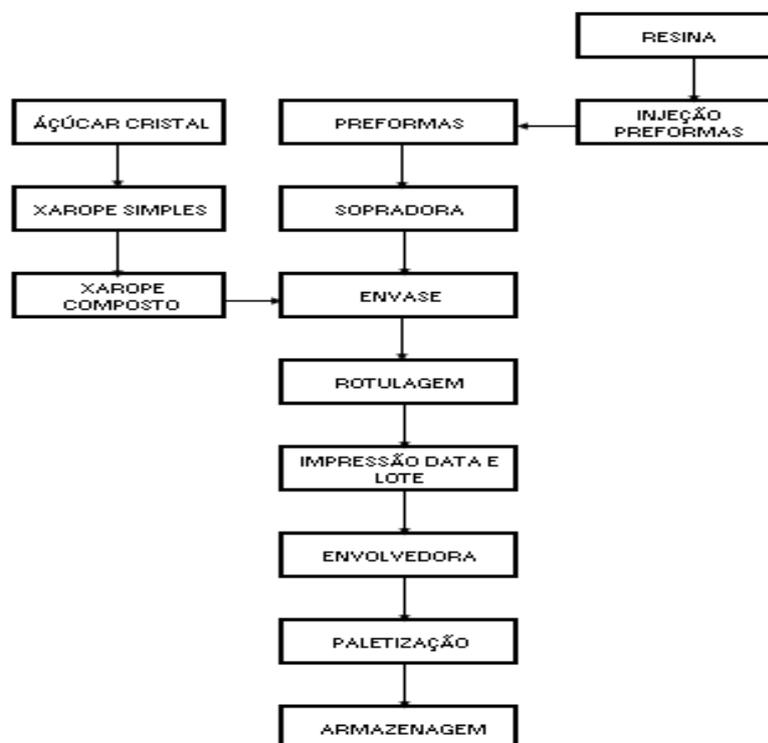


Figura 4.0: Fluxo do processo de produção. Fonte: elaborados pelo autor (2014).

Para implementação da metodologia de MCC, foram seguidas as etapas citadas nos capítulos anteriores. Os resultados obtidos com a implementação da MCC encontram-se descritos na sequência.

O início do trabalho se deu a partir da formação de uma equipe de profissionais composta por gerente, coordenadores, supervisores, técnicos de manutenção, técnicos de produção e operadores, contemplando os diferentes conhecimentos necessários para aplicação do estudo.

Este trabalho foi realizado, considerando o período de dois anos, compreendido entre 2013 e 2014, a partir de reuniões com a equipe ou parte dela, conforme a necessidade e assunto abordado, além do estudo bibliográfico.

4.1. ESCOLHA DO SISTEMA OU EQUIPAMENTO

Inicialmente realizou-se o levantamento da Disponibilidade, Tempo Médio de Reparo-TMPR e Tempo Médio entre Falhas-TMEF dos equipamentos/processos que compõe a linha de produção, mensurados de acordo com Slack (1999), conforme mencionado no capítulo 2.4 deste trabalho, representado nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 por suas principais máquinas. Os dados utilizados referem-se ao período de 2013.

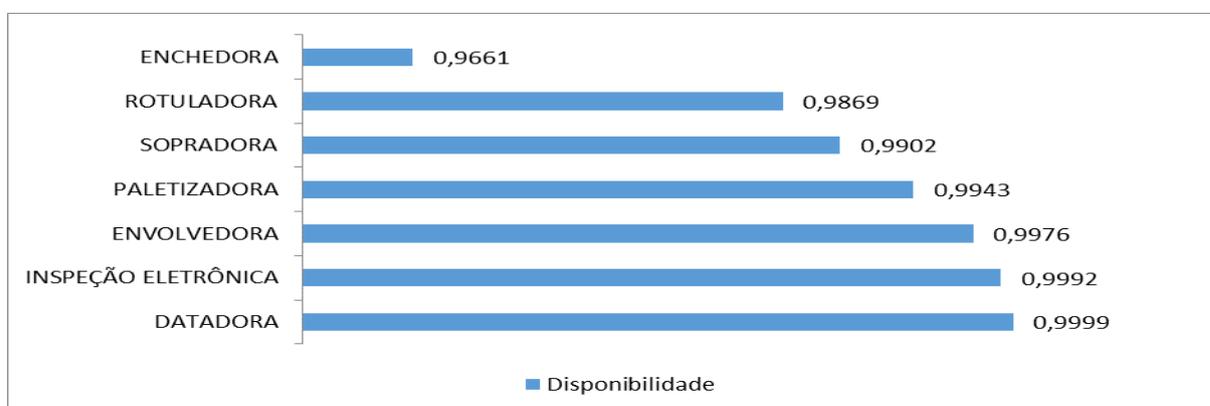


Figura 4.1: Disponibilidade dos principais equipamentos da linha. Fonte: elaborados pelo autor (2014).

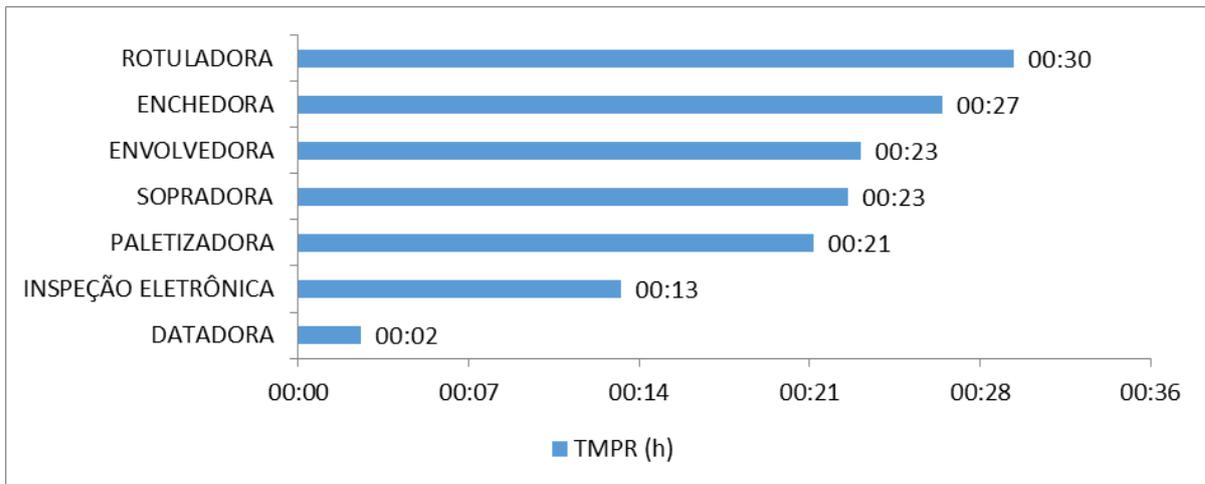


Figura 4.2: TMPR dos principais equipamentos. Fonte: elaborados pelo autor (2014).

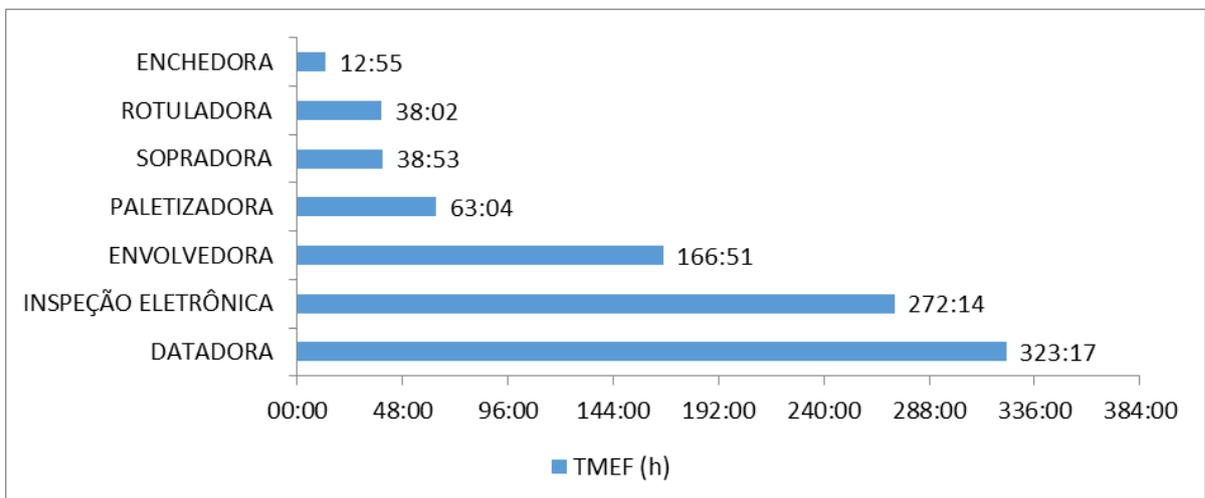


Figura 4.3: TMEF dos principais equipamentos. Fonte: elaborados pelo autor (2014).

A Figura 4.1 mostra que o processo de envase, representada no gráfico pela enchedora, é o processo que apresenta a menor disponibilidade da linha com 0,9661, seguido pela rotuladora com 0,9869 de disponibilidade, com a terceira menor disponibilidade a sopradora de garrafadas, seguido pela paletizadora com 0,9943. Com a maior disponibilidade aparecem a datadora, inspeção eletrônica e a envolvedora.

A Figura 4.2 mostra que a rotuladora apresenta o maior tempo médio para reparo (TMPR) que é de 30 minutos, enquanto a enchedora aparece com TMPR de 27 minutos como

segundo maior, seguido pela sopradora e envolvedora com TMPR de 23 minutos cada. A datadora, tem o menor TMPR com apenas 2 minutos, seguidos pela inspeção eletrônica e paletizadora.

O TMEF é apresentado na Figura 4.3, a qual mostra que a enchedora apresenta o menor tempo médio entre falhas com 12 horas e 55 minutos, seguido pela rotuladora como segundo menor TMEF e pela sopradora. Os melhores TMEF são apresentados pela datadora, inspeção eletrônica e envolvedora. Com base nessas informações, tomou-se a decisão de identificar os conjuntos e subconjuntos do processo de envase (a enchedora), conforme apresentado nas figuras acima, sendo considerado o equipamento crítico da linha, com as melhores oportunidades de melhoria e geração de resultados para a organização.

4.2. IDENTIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS

Nesta etapa, identificaram-se os conjuntos e subconjuntos que constituem o processo de envase e o levantamento dos tempos das paradas e de bom funcionamento destes conjuntos e subconjuntos, em seguida foi possível calcular o TMPR, TMEF e a disponibilidade de cada subconjunto, sendo que a disponibilidade igual a 1 foi considerada para subconjuntos que não apresentaram falhas, conforme Tabela 4.1. O período de análise coberto pela Tabela 4.1 refere-se ao ano de 2013. Para elaboração da Tabela 4.1, foram envolvidos as equipes de manutenção e produção, onde o conhecimento e experiências dessas equipes, adquiridos com a formação e com o tempo de trabalho desempenhado, foram fundamentais para identificação dos conjuntos e subconjuntos. Em seguida, nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6, são apresentados os gráficos de TMPR, TMEF e Disponibilidade dos subconjuntos, respectivamente. Os subconjuntos que constam na tabela são aqueles subconjuntos que mais impactaram na disponibilidade dos conjuntos.

Tabela 4.1: Conjuntos e subconjuntos do processo de envase

Conjunto	Cj	Subconjunto	Sej	TMEF (Horas:min)	TMR (Horas:min)	Disponibilidade
Rinser	A	Correias	1	1682:37	00:58	0,9994
	A	Cabeamento elétrico	2	2524:47	00:36	0,9998
	A	Vedações	3	5049:51	00:55	0,9998
Enchedora	B	Roletes	4	107:08	00:18	0,9971
	B	Rosca sem-fim	5	280:01	00:36	0,9979
	B	Garfos	6	265:27	00:22	0,9986
	B	Vedações	7	360:19	00:28	0,9988
Tampador	C	Sensores	8	174:00	00:10	0,9991
	C	Cabeçotes	9	201:53	00:15	0,9993
	C	Guias	10	1009:45	00:23	0,9996
Mixer	D	Bomba de vácuo	11	559:07	02:19	0,9963
	D	Válvulas	12	387:51	00:52	0,9983
	D	IHM	13	1260:50	01:51	0,9985
Trocador de calor	E	Válvula moduladora	14	1262:25	00:21	0,9998
	E	Vedações	15	Não há registro de falhas		1,0000
	E	Placas de fluxo	16	Não há registro de falhas		1,0000

Fonte: elaborados pelo autor (2014).

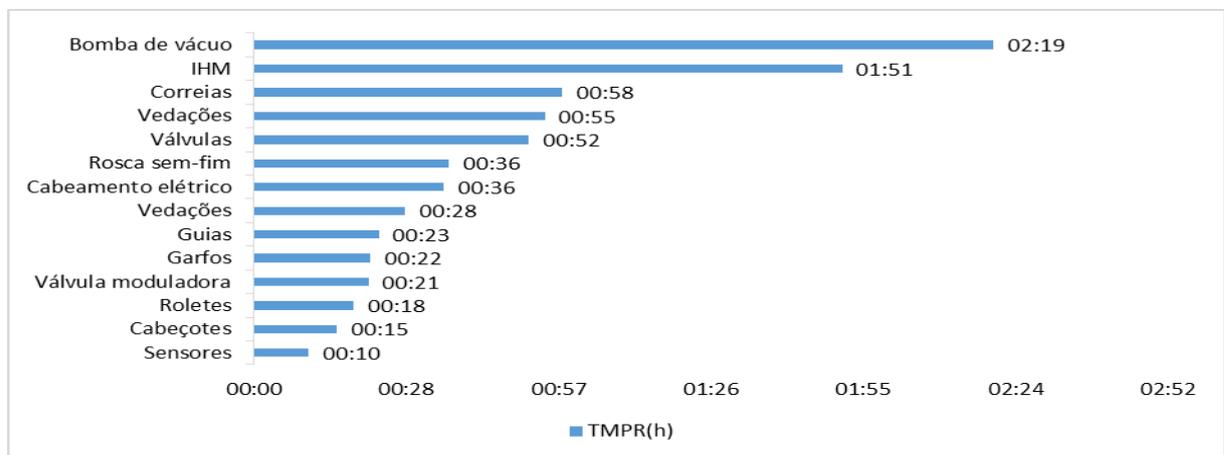


Figura 4.4: TMR dos Subconjuntos do processo de envase. Fonte: elaborados pelo autor (2014).

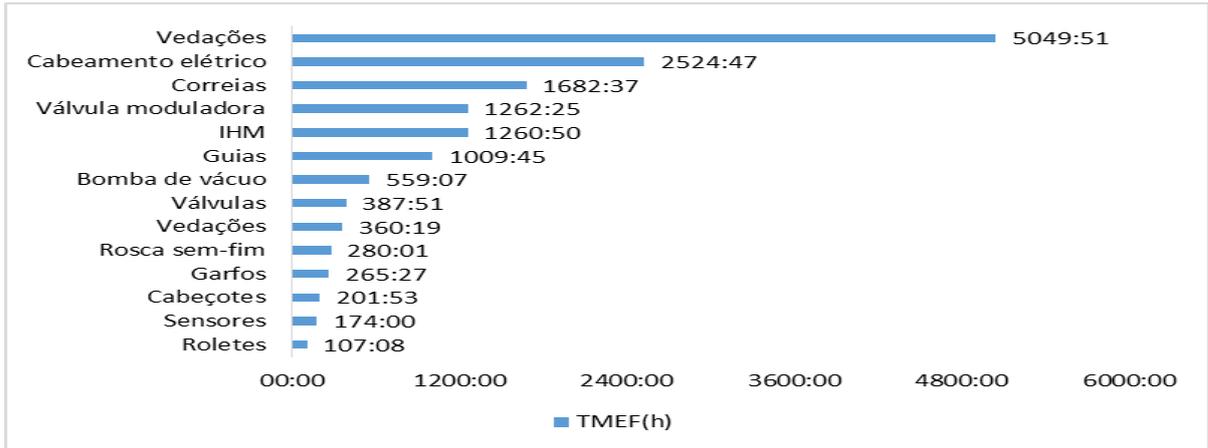


Figura 4.5: TMEF dos Subconjuntos do processo de envase. Fonte: elaborados pelo autor (2014).

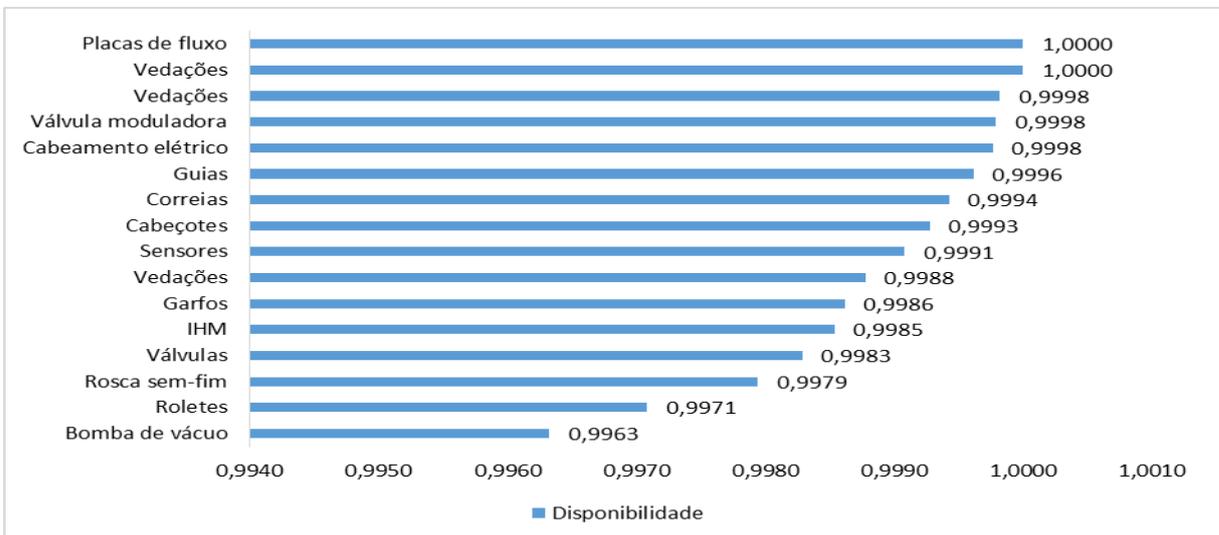


Figura 4.6: Disponibilidade dos Subconjuntos do processo de envase. Fonte: elaborados pelo autor (2014).

A Figura 4.4 apresenta a bomba de vácuo com o maior TMR, ou seja, apesar de ter baixa ocorrência de falhas, suas paradas geralmente são longas. O IHM, correias, vedações válvulas, rosca sem fim e cabeamento elétrico, aparecem em segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto, respectivamente, com os maiores TMR, superiores a 30 minutos. Para isso, aplicou-se uma ferramenta de análise de anomalias com o objetivo de identificar a causa básica, e eliminar a recorrência da falha.

Alto TMPR significa baixa manutenibilidade, evidenciando a necessidade de melhoria no procedimento de manutenção ou melhoria no projeto do subconjunto, quando possível, para facilitar as atividades de manutenção e assim baixar o TMPR.

A Figura 4.5 mostra que roletes têm o menor TMEF, seguido pelos sensores, cabeçotes, garfos, rosca sem fim, vedações da enchedora e válvulas, respectivamente, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e sétima posição de menor TMEF. Como o maior TMEF aparecem as vedações do rinser, seguido pelo cabeamento elétrico.

A Figura 4.6 mostra que bomba de vácuo é o subconjunto que apresenta a menor disponibilidade (0,9963), dentre os subconjuntos que compõe este sistema. Isso está ligado diretamente ao baixo tempo médio entre falhas mostrado na Figura 4.5 e ao alto tempo médio de reparo apresentado na Figura 4.4. Os roletes aparecem na Figura 4.6 com a segunda menor disponibilidade, seguido pela rosca sem fim, válvulas, IHM e garfos, terceira, quarta, quinta e sexta menor disponibilidade, respectivamente.

4.3. ANÁLISE FUNCIONAL DOS SUBCONJUNTOS

Após conhecer a Disponibilidade, o TMPR e o TMEF dos subconjuntos, o passo seguinte foi realizar a análise funcional dos subconjuntos e o propósito de cada um deles.

De acordo com Lafraia (2001), função é a atividade operacional que um item desempenha, normalmente definida por um verbo mais um substantivo. A análise funcional tem como objetivo traduzir a estrutura física de um item em palavras, definindo suas funções e seus padrões de desempenho, servindo de base de trabalho do programa MCC. Além disso, permite que todos compreendam o que é esperado de cada equipamento. Quando possível deve-se quantificar os padrões no que se refere ao desempenho, qualidade, segurança, meio

ambiente e custos, considerando o subconjunto em condições ideais (LAFRAIA, 2001; PINTO; NASCIF, 2001; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

As funções dos equipamentos podem ser classificadas em: funções primárias ou principais e funções secundárias. A função primária é a primeira função, aquela para a qual o equipamento foi projetado, o motivo da sua existência. A função secundária é menos aparente que as funções primárias, porém são fundamentais para aumentar o valor agregado do equipamento (LAFRAIA, 2001; PINTO; NASCIF, 2001; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Para este trabalho, foram identificadas e documentadas apenas as funções principais dos subconjuntos de acordo com a aplicação e o padrão de desempenho esperado. Nesse momento, para identificação das funções primárias e seu padrão de desempenho, foram utilizados o conhecimento e a experiência das equipes de produção e manutenção, formadas por operadores, técnicos, e engenheiros supervisores e coordenadores. A Tabela 4.2 apresenta os conjuntos e seus subconjuntos com suas respectivas funções primárias e padrão de desempenho.

Tabela 4.2: Função e padrão de desempenho dos subconjuntos

Conjunto	Subconjunto	Scj	Função Primaria	Padrão de desempenho
Rinser	Correias	1	Transmitir movimento sincronizado	Transmitir a rotação de forma contínua
	Cabeamento elétrico	2	Alimentar sistema elétrico	Conduzir energia de forma segura e eficiente
	Vedações	3	Impedir passagem de fluidos	Impedir vazamentos
Enchedora	Roletes	4	Fazer a elevação da garrafa, travar/destravar o garfo	Elevar o garfo de forma contínua
	Rosca sem-fim	5	Movimentar e sincronizar a condução de garrafas	Transferir as garrafas para a enchedora de modo contínuo e sincronizado a 200 garrafas por minuto
	Garfos	6	Fazer o guiamento e segurar a garrafa	Manter a garrafa pressionada
	Vedações	7	Impedir passagem de fluidos	Impedir vazamentos
	Sensores	8	Detectar a presença de tampas	Detectar a presença de tampas e parar equipamento caso não tenha a presença das mesmas ou parar equipamento quando as mesmas estão viradas.
Tampador	Cabeçotes	9	Sustentar o bocal e dar torque na tampa	Aplicar a tampa na garrafa com torque dentro do padrão
	Guias	10	Garantir alinhamento	Garantir o deslizamento e o alinhamento
Mixer	Bomba de vácuo	11	Gerar vácuo	Gerar 0,78Mbar de vácuo
	Válvulas	12	Abrir e fechar fluxo de água	Determinar o fluxo de água
	IHM	13	Possibilita comunicação entre operador e máquina	Controlar e comandar os parâmetros e operação do equipamento
Trocador de calor	Válvula moduladora	14	Controlar fluido	Determinar fluxo para modular a temperatura
	Vedações	15	Impedir passagem de fluidos	Impedir vazamentos
	Placas de fluxo	16	Fazer a troca térmica	Firmes, bem posicionadas, resfriando a 10°C 24000l/h

Fonte: Dados elaborados pelo autor (2014).

4.4. ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA

O passo seguinte foi preencher uma FMEA para identificar o modo e o efeito de falha dos subconjuntos. O modo de falha é a descrição da maneira como a falha se manifesta, a maneira pela qual o item deixa de realizar sua função (PALADY, 1997; LAFRAIA, 2001; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

É importante destacar que o que estiver especificado no modo de falha pode ser a causa de um modo de falha de outro componente do sistema. A lista de modos de falhas foi

constituída com base no conhecimento de toda a equipe envolvida, fruto da interação entre participantes de diversas áreas através de brainstorming. Além disso, dados da assistência técnica e manuais de manutenção também foram consultadas.

O efeito da falha pode ser definido como os defeitos resultantes do modo de falha, ou ainda, as consequências destes modos de falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; LAFRAIA, 2001; PALADY, 1997). O efeito da falha é a descrição do que é observado pelo operador ou mecânico quando o componente sofre os modos de falhas descritos. Em geral, a cada modo de falha corresponde um efeito da falha. Contudo, pode acontecer o caso de um modo de falha resultar em mais de um efeito da falha.

Seguindo a construção da FMEA, para cada efeito dos modos de falhas, foi determinada a severidade desse efeito, usando uma escala de 1 a 10, onde 1 é considerada baixa severidade e 10, alta severidade, representada pela letra “S”. Severidade é corresponde à gravidade do efeito do modo de falha avaliada de forma qualitativa, conforme sugestão de Palady (1997) e Fogliatto e Ribeiro (2009). Para cada efeito se fez uma classificação de acordo com a característica do seu impacto. Nesse caso, classificou-se o efeito em segurança e operacional. A Tabela 4.3 mostra o critério utilizado para o estabelecimento mais detalhado da severidade.

Tabela 4.3: Níveis de severidade com descrição e escala

Severidade	Descrição	Escala
Muito alta	Quando compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	10 9
Alta	Quando provoca alta insatisfação do cliente, por exemplo, um veículo ou aparelho que não opera, mas sem comprometer a segurança ou implicar infração	8 7
Moderada	Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda do desempenho ou mau funcionamento de partes do sistema	6 5
Baixa	Quando provoca uma leve insatisfação, o cliente observa apenas uma leve deterioração ou queda no desempenho	4 3
Mínima	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes talvez nem mesmo note a sua ocorrência	2 1

Fonte: Dados elaborados pelo autor (2014).

Os valores 9 e 10 da escala só são utilizados quando o modo de falha envolve a segurança de pessoas, produto ou meio ambiente. Os valores 7 e 8 da escala são utilizados quando há parada no equipamento devido ao modo de falha. Os valores 6 e 5 da escala são utilizados quando há uma queda considerável no desempenho do equipamento. Os valores 4 e 3 da escala são utilizados quando há uma baixa queda de rendimento. Os valores 1 e 2 da escala são utilizados quando não há perda de produção (por exemplo: pintura descascada).

Também foram identificadas as causas para cada modo de falha. Para cada causa determinou-se a sua ocorrência. Ocorrência está relacionada com a probabilidade de a causa acontecer (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A ocorrência foi estabelecida utilizando uma escala de 1 a 10, sendo 1 para baixa ocorrência e 10 para alta ocorrência. Para tornar a escala mais precisa na determinação da ocorrência se fez uma relação da ocorrência com a taxa de falha desse subconjunto, sugerida por Fogliatto e Ribeiro (2009).

A Tabela 4.4 apresenta a relação com o número de falhas ocorridas por ano para definição da Ocorrência, expressa em escala 0 a 10.

Tabela 4.4: Número de falhas por ano e escala de Ocorrência

Número de falhas por ano	Ocorrência
36	10
18	9
7	8
4	7
2	6
1	5
0,5 (1 em 2 anos)	4
0,2 (1 em 5 anos)	3
0,04 (1 em 25 anos)	2
0,004 (1 em 250 anos)	1

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

Dando continuidade à FMEA, foram identificados os controles atuais para detecção das causas ou dos modos de falhas. Então, fez-se a definição do nível de detecção para cada

controle, usando uma escala de 1 a 10, onde 1 representa uma situação favorável de detecção, facilidade de detectar a causa ou o modo de falha através do controle atual, e 10 para situação desfavorável, ou seja, a causa ou o modo de falha não será detectado caso eles ocorram.

Detecção refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar o modo de falha antes do sistema ou componente ou subconjunto ser liberado para a produção. Para determinar o valor da Detecção, utiliza-se uma escala que pode variar de 1 a 10, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Nível de detecção, descrição e escala.

	Detecção	Descrição	Escala
RUIIM  BOM	Muito remota	O controle atual de verificação não irá detectar o modo de falha, ou não existe controle de verificação	10
	Remota	O controle atual de verificação provavelmente não irá detectar esse modo de falha	9 8
	Baixa	Há uma baixa probabilidade do controle atual de verificação detectar esse modo de falha	7 6
	Moderada	O controle atual de verificação pode detectar esse modo de falha	5 4
	Alta	Há uma alta probabilidade do controle atual de verificação detectar esse modo de falha	3 2
	Muito alta	É quase certo que o controle atual de verificação irá detectar esse modo de falha	1

Fonte: Dados elaborados pelo autor (2014).

Após a quantificação da severidade, da ocorrência e da detecção, calculou-se o risco para cada modo de falha, através do cálculo $S \times O \times D = R$, onde S é a severidade, O é a ocorrência, D é a detecção, e R o risco resultante.

Tabela 4.6: FMEA dos subconjuntos

Conjunto	Sub-conjunto	Função Primária	MODO POTENCIAL DE FALHA	EFEITO POTENCIAL DA FALHA	S	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL DE FALHA	O	CONTROLES ATUAIS	D	R
Rinser	Correias	Transmitir movimento sincronizado	Desgaste/rompimento	Interrupção na transmissão/perda de sincronismo	5	Operacional	Desalinhamento/sujeira/má qualidade/desgaste	4	Visual	3	60
	Cabeamento elétrico	Alimentar sistema elétrico	Queima / perda de sinal / energia / Ruptura da isolação / quebra dos condutores ou conectores	Interrupção da energia nos componentes	6	Operacional/Segurança	Oxidação	3	Visual	8	144
	Vedações	Impedir passagem de fluidos	Vazamento	Vazamento/falha de válvula	8	Operacional	Qualidade do material/pressão excessiva/falta de lubrificação	5	Visual	5	200
Enchedora	Roletes	Fazer a elevação da garrafa, travar/destravar o garfo	Garfo não trava/garfo não abre	Garrafa não enche	7	Operacional	Desgaste do rolete/quebra da mola do pino/Qualidade do material	6,5	Visual	3	137
	Rosca sem-fim	Movimentar e sincronizar a condução de garrafas	Desalinhamento e folga	Perda de sincronismo, gerando garrafas amassadas	7	Operacional	Desgaste do material	6	Visual	3	126
	Garfos	Fazer o guiamento e segurar a garrafa	Garfo torto, desalinhado	Garrafa solta ou vazia	8	Operacional	Entrada da garrafa desalinhada	5	Visual	3	120
	Vedações	Impedir passagem de fluidos	Vazamento de fluidos	Perda de pressão ou líquido	8	Operacional	Falta de lubrificação/material inadequado	5	Visual	8	320

Conjunto	Sub-conjunto	Função Primária	MODO POTENCIAL DE FALHA	EFEITO POTENCIAL DA FALHA	S	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL DE FALHA	O	CONTROLES ATUAIS	D	R
Tampador	Sensores	Detectar a presença de tampas	Sensor embaçado/umidade/queima/quebra	Máquina para devido a não aplicação de tampas nas garrafas	4	Operacional	Umidade/impacto/	8	Visual	2	64
	Cabeçotes	Sustentar o bocal e dar torque na tampa	Tranca/ quebra/ oxidação	Torque fora do padrão	6	Operacional	Oxidação/quebra a mola por material inadequado/rolamento trancado	8	Visual	3	144
	Guias	Garantir alinhamento	Desgaste/ desalinhamento	Tampa torta/ Torque fora da especificação	6	Operacional	Falta de lubrificação	2	Visual	5	60
Mixer	Bomba de vácuo	Gerar vácuo	Quebra/ desgaste/ queima	Falta de vácuo no desaerador	8	Operacional	Umidade/superaquecimento/oscilação na tensão elétrica/vazamento no selo da bomba	6	Visual	3	144
	Válvulas	Abrir e fechar fluxo de água	Erro do fluxo de água	Erro no processo de lavagem	7	Operacional	Sujidades/desgaste	8,5	Visual	3	179
	IHM	Possibilitar comunicação entre operador e máquina	Queima/perda de sensibilidade/quebra	Parada no mixer	7	Operacional	Umidade/impactos/tempo de uso	6	Visual	5	210
Trocador de calor	Válvula moduladora	Controlar fluido	Quebrado diafragma/quebra da mola	Vazamento de produto	3	Operacional	Desgaste	5	Visual	8	120
	Vedações	Impedir passagem de fluidos	Vazamento de fluidos	Vazamento/falha de válvula	8	Operacional	Qualidade do material/pressão excessiva/falta de lubrificação	6	Visual	5	240
	Placas de fluxo	Fazer a troca térmica	Vazamento/entrada de etanol na bebida pronta	Perda de líquido	9	Operacional	Quebra das placas/qualidade das vedações	2	Visual, Análise do CQ	3	54

Fonte: Dados elaborados pelo autor (2014).

A Tabela 4.6 apresenta para cada subconjunto os modos de falhas e o efeito de cada modo de falha com a severidade de cada efeito sobre o sistema. Apresenta, ainda, a classificação quanto à criticidade da operação e nesse caso foram identificados como crítico para a operação e para segurança. Além disso, mostra a causa potencial para cada modo de falha e a ocorrência que diz respeito à probabilidade da causa acontecer. Por último, pode-se ver os controles atuais utilizados para prevenir ou detectar a causa ou os respectivos modos de falha, seguido pelo nível de detecção com o risco resultante de cada modo de falha.

Como pode ser visto na Tabela 4.6, o maior risco foi encontrado no modo de falha identificado como vazamento de fluidos, do subconjunto vedações, do conjunto enchedora, com um risco de $R= 320$, causado pela alta severidade e baixa probabilidade de detecção. Na sequência, aparece o subconjunto vedações do conjunto trocador de calor com segundo maior risco, em que $R= 240$, influenciado pela alta severidade. Com terceiro maior risco, com $R= 210$, aparece o modo de falha do subconjunto IHM, do conjunto Mixer, caracterizado por sua severidade e frequência de ocorrência. Com $R= 200$ aparece o subconjunto vedações, do conjunto rinser, neste momento é possível perceber que vedações é um item crítico para este processo de envase, pois mesmo em diferentes conjuntos, o subconjunto vedações apresenta maior risco.

Os menores riscos são provenientes dos modos de falha dos subconjuntos: placas de fluxo do conjunto trocador de calor, subconjuntos guias do conjunto tampador, e do subconjunto correias do conjunto rinser.

Conforme sugerido por Fogliatto e Ribeiro (2009), direcionou-se a atenção e concentraram-se os esforços para a elaboração das ações onde o risco era maior, levando também em consideração o custo/benefício de cada ação. Esses autores mencionam ainda que valores de risco com $R= 80$ ou $R=100$ pode ser usado como norte para disparar a elaboração de ações de correção ou melhoria, ou ainda, utilizando-se do princípio de Pareto, deve-se

concentrar esforços e priorizar as ações para os maiores riscos, naqueles em que as oportunidades e resultados são mais atraentes. Para Lafraia (2001), a priorização dos riscos deve seguir do maior para o menor risco; segundo este autor o índice de risco é a maneira mais precisa de priorização das falhas.

Após a determinação do risco resultante de cada modo de falha, o passo seguinte foi realizar, em conjunto com a equipe da manutenção e da produção, a priorização e elaboração das ações para redução do risco dos modos de falhas, utilizando-se dos conhecimentos e experiências adquiridos por cada colaborador ao longo do tempo. Um fator importante que auxiliou no desenvolvimento dessas ações foi o fato de a empresa ter realizado a implantação do programa de Manutenção Produtiva Total (TPM) em 2010, aprimorando o conhecimento das equipes de manutenção e produção, através de treinamentos específicos de manutenção autônoma, melhoria focada, saúde segurança e meio ambiente e capacitação. Além disso, com a implantação de TPM, os padrões foram revisados e melhorados, e as equipes receberam treinamento desses padrões de acordo com a pertinência.

4.5. ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

A Tabela 4.7 apresenta a proposta utilizada para o plano de manutenção com as ações para reduzir o risco resultante dos modos de falhas. Os planos foram estabelecidos através das reuniões realizadas com o pessoal que tinham maior conhecimento sobre os subconjuntos abordados. Para os subconjuntos que necessitavam de conhecimento técnico em mecânica, foram envolvidos os técnicos de manutenção mecânica. Para os subconjuntos que necessitavam de um conhecimento sobre automação e elétrica, foram envolvidos os técnicos em eletromecânica e automação, sempre com a participação da operação, supervisores de manutenção e de produção, além de coordenadores, quando necessário. As reuniões

ocorreram com uma frequência quinzenal ou até mensal, pois dependia em alguns casos da disponibilidade de agenda das pessoas envolvidas. Para cada reunião, foi reservado um período de duas horas para abordar os assuntos programados. A construção da FMEA exige a atenção, concentração e o conhecimento das pessoas envolvidas.

Conjunto	Subconjunto	MODO POTENCIAL DA FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO				NOVO CENÁRIO				
				TIPO DE MANUTENÇÃO	TAREFA	FREQÜÊNCIA	RESPONSÁVEL	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'	
ampador	Sensores	Sensor embaçado/umidade/queima/quebra	64	Manter a limpeza do equipamento/melhorar a fixação do sensor	Reativa - Rodar até a falha	Manutenção corretiva: Substituição após a falha	Após a falha	Eletromecânico	Sensores com índice de proteção maior e melhorar sistema de fixação do sensor.	4	3	2	24
	Cabeçotes	Tranca/ quebra/ oxidação	144	Troca dos rolamentos a cada seis meses	Preventiva - Substituição programada	Manutenção preventiva: Troca dos rolamentos a cada 6 meses	6 meses	Técnico de manutenção mecânica		6	8	3	144
	Guias	Desgaste/ desalinhamento	60	Manter a lubrificação	Preditiva - Recuperação baseada na condição	Inspeção de rota mecânica: Verificar possível desgaste	2 anos	Técnico de manutenção mecânica		6	2	5	60
Mixer	Bomba de vácuo	Quebra/ desgaste/ queima	144	MAMA	Preditiva - Recuperação baseada na condição	Inspeção de rota elétrica: Verificar cabos, conector, bornes, sistema de ventilação, filtro. Analisar desgaste, fadiga, limpeza e conservação, fixação, tensão, corrente nominal, corrente das três fases. Realizar imagem termográfica.	4 meses	Eletromecânico		8	4	3	96
	Válvulas	Erro do fluxo de água	178,5	Garantir limpeza/filtração da água	Preventiva - Recuperação programada	Manutenção preventiva: Análise da condição do kit reparo, substituição anual dos sensores de fim de curso	1 ano	Técnico de manutenção mecânica		7	6	3	126
	IHM	Queima/perda de sensibilidade/quebra	210	Proteger contra a umidade	Reativa - Rodar até a falha	Manutenção corretiva: Substituição após a falha		Eletromecânico	Proteção IHM contra a umidade.	7	3	5	105

				PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO					NOVO CENÁRIO				
			COMO PREVENIR A FALHA										
Conjunto	Subconjunto	MODO POTENCIAL DA FALHA	R		TIPO DE MANUTENÇÃO	TAREFA	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'
Trocador de calor	Válvula moduladora	Quebrado diafragma/quebra da mola	120	MAMA	Reativa - Rodar até a falha	Manutenção corretiva: Substituição após a falha		Após a falha	Técnico de manutenção mecânica	3	5	8	120
				Manter a lubrificação e as pressões recomendadas	Preditiva - Recuperação baseada na condição	Inspeção de rota mecânica: Análise da condição das vedações do trocador de calor.		2 anos	Técnico de manutenção mecânica	5	1	8	40
	Vedações	Vazamento	240										
	Placas de fluxo	Vazamento/entrada de etanol na bebida pronta	54	MAMA	Reativa - Rodar até a falha	Manutenção corretiva: Troca após a falha		Após a falha	Técnico de manutenção mecânica	9	2	3	54

Fonte: Dados elaborados pelo autor (2014).

Na Tabela 4.7, pode ser verificado que, para cada modo de falha dos subconjuntos, foi estabelecido um plano de manutenção para reduzir ou eliminar o impacto da falha. Inicialmente, foi estabelecida uma ação para prevenir a falha, buscando garantir a melhor condição para o subconjunto. Para os casos em que não havia necessidade de uma ação, nada foi feito, apenas se manteve a condição atual.

Em seguida, para cada modo de falha do subconjunto, se estabeleceu o tipo de manutenção mais adequado, juntamente com a descrição da tarefa a ser realizada foi definido a frequência e o responsável pela execução. A escolha do responsável se deu pela área de conhecimento dos técnicos de manutenção. Já a frequência foi definida considerando as condições de trabalho a qual o subconjunto está exposto, e também a agenda anual de paradas para manutenção, que ocorre nos meses de abril a setembro, considerado baixa temporada para o mercado de bebidas do sul do país. Além disso, para melhorar a condição de trabalho do subconjunto, foram realizadas ações de melhoria, mostradas na coluna ações recomendadas da tabela 4.7, onde é possível verificar que as melhorias foram realizadas nos seguintes subconjuntos: rosca sem fim, sensores do tampador e IHM.

O plano de manutenção foi elaborado levando em consideração, para priorização, aqueles modos de falhas que apresentavam risco mais alto. Os modos de falhas onde o risco não era tão alto, mas que as melhorias poderiam ser feitas com facilidade e baixo custo, também foram objeto do plano de ação.

Após a elaboração do plano de ação, usando os mesmos critérios, foi realizada a quantificação da severidade, da ocorrência e da detecção, o passo seguinte foi calcular o risco resultante, considerando agora a nova condição. O risco resultante desse novo cenário está apresentado na Tabela 4.7 pelo R' , nessa mesma coluna, em destaque estão os riscos que apresentaram redução com a elaboração das ações. A Tabela 4.7 mostra ainda que o modo de falha que apresentou a maior redução no risco está no subconjunto vedações do conjunto

rinsar, em que o risco resultante caiu de $R = 200$ para $R' = 40$. Outra redução de risco importante ocorreu no modo de falha do subconjunto vedações, no conjunto enchedora, onde o risco resultante caiu de $R = 320$ para $R' = 256$, que por ter severidade alta, e baixa detecção, além de não permitir a realização de preditiva, utilizou-se então a preventiva como estratégia de manutenção, com substituição anual destas vedações.

Outros modos de falhas que receberam planos de ação tiveram uma redução de risco mais discreta, porém, não menos importante, pois toda redução de risco contribui para a disponibilidade do sistema.

Para as ações de responsabilidade dos operadores, se adicionou a atividade nas folhas de verificação da manutenção autônoma, além dos padrões de como proceder. Para as ações de responsabilidade da manutenção, foram elaborados os padrões e folhas de verificação com a frequência de execução. Os documentos em que as atividades foram formalizadas e padronizadas estão disponíveis na linha de produção e na manutenção, de acordo com a pertinência, nos seguintes padrões: PP07.MNI; IT32.MNI; PP33.MNI; PP32.MNI. Todos receberam treinamento antes de iniciar a execução das ações de sua respectiva responsabilidade. A frequência das ações de verificação e controle foi baseada na experiência da equipe e na taxa de falha desse subconjunto. Estas informações foram levantadas nas reuniões com a equipe e estão registradas em atas de reuniões para fortalecer o compromisso de todos.

4.6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Embora seja recente a implantação das ações, já é possível verificar a mudança de comportamento tanto da equipe de produção quanto da equipe de manutenção, todos estão

engajados em um objetivo comum, que é o de aumentar a disponibilidade do equipamento. O aumento da disponibilidade é portando o resultado esperado dessas ações.

A figura 4.7 mostra um comparativo da disponibilidade dos equipamentos entre os anos de 2013 e 2014, período em que em que o estudo foi realizado. Em 2013 foram levantadas as condições atuais para estabelecer as ações, enquanto 2014 é o período em que muitas das ações já estavam implantadas.

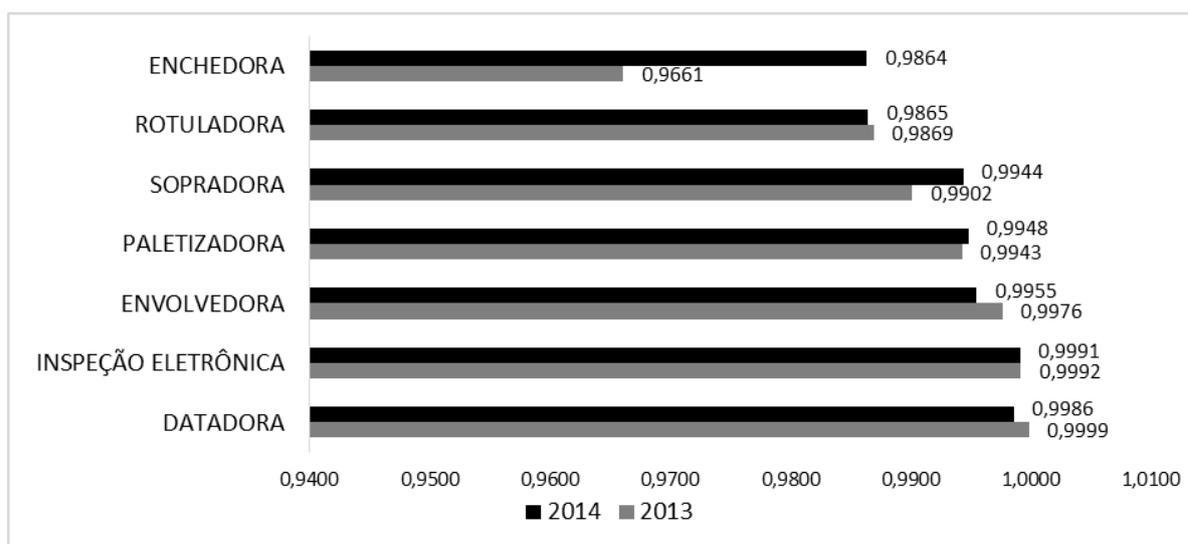


Figura 4.7: Disponibilidade 2013 e 2014. Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Na Figura 4.7 é possível verificar que as ações realizadas nos conjuntos e subconjuntos do equipamento enchedora, objeto de estudo, foram bem aplicadas, pois a disponibilidade deste equipamento passou de 0,9661 em 2013 para 0,9864 em 2014.

Isso significa que, com o aumento da disponibilidade da enchedora, a linha ganhou 60 horas para produção em um ano. Considerando que a linha tem uma produção de 12 mil garrafas por hora, multiplicado pelas 60 horas de produção, equivale a um total de 508 mil garrafas ou 80 mil pacotes de refrigerantes.

Quando avaliado do ponto de vista do moral das pessoas, estas mencionam que se sentem mais motivadas quando os equipamentos trabalham de forma contínua e eficiente. Pois assim, o trabalho fica mais agradável e produtivo, permitindo inclusive que os

operadores possam prestar mais atenção na condição e no funcionamento do equipamento, o que assegura qualidade superior. O aumento da satisfação também pode ser verificado na pesquisa de satisfação dos profissionais realizado anualmente. O resultado desta pesquisa do ano de 2014 quando comparado ao ano de 2013 revela um aumento de 2 pontos percentuais. Obviamente, o ganho de disponibilidade não é o único fator, mas é um dos fatores que contribuíram para melhorar a satisfação e o moral das pessoas. Outro ponto importante mencionado é que o aumento da disponibilidade reduz a necessidade de horas extras, mais frequentes em anos anteriores. As horas extras, em sua maioria, são realizadas em finais de semana, assim, pode-se constatar que esta redução de horas extras representa mais tempo disponível para o profissional fazer outras atividades de cunho profissional ou pessoal, um ganho importante do ponto de vista social.

Do ponto de vista de qualidade, observou-se uma redução de 10% no descarte de produtos não conformes, visto que em alguns casos, a falha interrompe o processo, gerando a não conformidade.

Do ponto de vista de capacidade da linha, isso representa um aumento de capacidade produtiva de 3%. Este ganho de produção equivale ao aumento da demanda previsto para 2014. Também pode-se interpretar da seguinte forma, se a demanda desta linha crescer 3% ao ano, isso significa que os investimentos para ampliação da capacidade foram postergados em um ano. Parece pouco, porém, quando se fala em investimentos na casa dos 20 milhões para ampliação da capacidade, os ganhos se tornam relevantes.

Outro ponto importante é que um equipamento com maior confiabilidade permite um melhor planejamento na compra de peças de reposição, possibilitando trabalhar com estoques de peças em níveis mais reduzidos, devido a um maior grau de certeza de que o item vai manter sua função pelo período estabelecido.

Quando avaliado em termos financeiros, somando-se os ganhos relacionados a produtividade de mais 80 mil pacotes, ganhos em função da melhor satisfação da equipe, redução de horas extras, redução da geração de produtos não conformes, economia de custo financeiro ao postergar o investimento de ampliação de capacidade por mais um ano, redução de estoque, estima-se que o valor total economizado pode passar de 2 milhões por ano.

Apesar das melhorias, enchedora e rotuladora ainda são os equipamentos com a menor disponibilidade da linha de produção. Uma vez que a enchedora é o gargalo, esta continuará sendo objeto de estudo para realização de futuras melhorias, uma vez que, quando o gargalo ganha em disponibilidade, todo o sistema é beneficiado.

5. CONCLUSÕES

O objetivo da elaboração deste trabalho foi avaliar e melhorar a confiabilidade e disponibilidade de uma máquina que constitui o gargalo em uma linha de produção de refrigerantes. A linha em estudo é responsável pela produção de mais de 50% do volume total da empresa, apresenta a maior utilização da capacidade e uma eficiência considerada baixa para os padrões da empresa, levando a utilização de horas extras em excesso no período de verão chamado também de alta temporada, onde a demanda atinge seu pico.

Inicialmente, foi realizado o levantamento dos dados das máquinas ou processos que constituíam a linha de produção. Com esses dados foi possível calcular o tempo de bom funcionamento, os tempos médios de reparo e a disponibilidade de cada um dos equipamentos dessa linha de produção. A partir daí foi possível verificar qual o processo que apresentava o menor tempo médio de bom funcionamento e a menor disponibilidade. Nesse momento foi identificado que o processo de envase seria o alvo de aplicação deste trabalho.

Após a identificação do processo a ser estudado, nesse caso o processo de envase, realizou-se a identificação dos conjuntos e subconjuntos do processo de envase que impactavam na confiabilidade. Em seguida, para cada subconjunto, foi realizada a análise funcional, identificando a função primária de cada um desses subconjuntos. Posteriormente, foram levantadas as informações necessários para calcular a disponibilidade, o TMPR e o TMEF de cada um desses subconjuntos, que permitiram a verificação dos subconjuntos que mais impactavam na disponibilidade do processo de envase.

A aplicação da FMEA permitiu uma análise sistematizada dos subconjuntos, onde foram levantados, além da função primária dos subconjuntos, os modos de falhas, os efeitos provocados pelos modos de falha, e atribuído aos efeitos um nível de severidade. Na classificação, foi considerada a característica da operação e de que forma ela impactava. Para

cada modo de falha, foi identificada sua causa básica, e a ela, atribuído um nível de ocorrência, em que se usou a taxa de falhas como base. Posteriormente foram identificados os controles atuais utilizados para detectar ou prevenir a ocorrência dos modos de falha. Para cada controle existente, atribuiu-se um nível de detecção. O levantamento da severidade, da ocorrência e da detecção, permitiu calcular o risco resultante de cada modo de falha dos subconjuntos, e assim, facilitou a priorização das ações.

Os principais riscos identificados foram: vazamento de fluidos, do subconjunto vedações do conjunto enchedora, o qual apresentou o maior risco; o vazamento do subconjunto vedações do conjunto trocador de calor, o qual apresentou o segundo maior risco; e com terceiro maior risco aparece a falha no subconjunto IHM do conjunto mixer.

As ações desenvolvidas tiveram como prioridade os modos de falhas que apresentaram maior risco. Porém foram realizadas algumas ações que contemplaram modos de falhas com riscos moderados, consideradas de aplicação fácil e de baixo custo.

As principais ações foram: manter a lubrificação adequada e garantir o material correto nas vedações do conjunto da enchedora, além adoção da manutenção preventiva com substituição anual destas vedações, o que permitiu reduzir o risco de 320 para 256; outra ação importante foi a adoção da manutenção preventiva a cada seis meses para recuperação do subconjunto rosca sem fim, além da melhoria implantada recentemente para substituir o subconjunto por uma régua de transferência, permitiu uma redução do risco resultante de 126 para 84; também é importante citar a adoção da preditiva no subconjunto bomba de vácuo do conjunto mixer, com inspeção de rota elétrica para verificar cabos, conector, bornes, sistema de ventilação, filtro, analisar desgaste, fadiga, limpeza e conservação, fixação, tensão, corrente nominal, corrente das três fases e análise termográfica, reduziu o risco de 144 para 96; para o subconjunto IHM do conjunto mixer foi adotada a manutenção corretiva, ou seja, rodar até a falha, porém com uma ação de melhoria, através da colocação de uma proteção,

melhorou sua condição, o que permitiu que o risco caísse de 210 para 105 em função de reduzir sua probabilidade de ocorrência. As demais ações e seu resultado podem ser observados na tabela 4.7.

O aumento da disponibilidade da enchedora permitiu um ganho de 60 horas anuais para produção. Considerando que a linha tem uma produção de 12 mil garrafas por hora, multiplicado pelas 60 horas de produção, isso equivale a um total de 508 mil garrafas ou 80 mil pacotes de refrigerantes. Quando avaliado em termos de faturamento, esse ganho equivale a aproximadamente 1 milhão de reais por ano.

Outros ganhos percebidos referem-se a: (i) moral das pessoas, que mencionam que se sentem mais motivadas quando os equipamentos trabalham de forma contínua e eficiente, (ii) satisfação dos colaboradores, conforme verificado na pesquisa de clima realizado anualmente, (iii) redução do uso de horas extras, que era frequente em anos anteriores, (iv) redução de 10% no descarte de produtos não conformes, (v) possibilidade de adiar em cerca de um ano investimentos de ampliação da linha, uma vez que a produtividade aumentou e (vi) melhor planejamento na compra de peças de reposição e menores níveis de estoque, uma vez que existe maior grau de certeza de que o item vai manter sua função pelo período estabelecido.

Por fim, vale destacar a importância da aplicação dos preceitos da MCC como forma sistematizada de avaliação do desempenho dos equipamentos e para a elaboração de ações de manutenção para redução do risco dos modos de falha, buscando o aumento da disponibilidade dos equipamentos. Em muitos casos as ações são simples e de baixo custo, justificando o sucesso da aplicação dos preceitos da MCC.

Sugere-se para pesquisas futuras a utilização da FMEA como ferramenta para direcionar e aprimorar a manutenção autônoma para melhoria contínua da confiabilidade dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

- BELIVACQUA, M.; BRAGLIA, M.; GABRIELLI, R. Monte Carlo Simulation approach for a modified FMECA in a power plant. *Quality and Reliability Engineering International*, v.16, n. 4, p. 1313-1324, 2000.
- BERGAMO, V. F. *Confiabilidade Básica e Prática*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- BRANCO FILHO, G. *Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006a.
- BRANCO FILHO, G. *Indicadores e Índices de Manutenção*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006b.
- _____. *Indicadores e Índices de Manutenção*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006b.
- CABRAL, J. *Organização e gestão da manutenção: Dos conceitos a prática*. Porto: ed. Lidel, 2006.
- DESHPANDE, V.S.; MODAK, J.P. Application of RCM to a medium scale industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 77, pp. 31-43, 2002.
- FOGLIATTO, F; RIBEIRO, J. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Rio de Janeiro. Elsevier, 2009.
- GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GONÇALVES, E. *Manual Básico para Inspetor de Manutenção Industrial*. Rio Janeiro: Ciência Moderna, 2012.
- HANSEN, R. *Eficiência Global dos Equipamentos: Uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros*. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- JUNICO, A.; KLIPPEL A.; SEIDEL, A.; KLIPPEL, M. *Uma revolução na produtividade: a gestão lucrativa dos postos de trabalho*. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- KARDEC, A.; NASCIF, J.; BARONI, T. *Gestão estratégica e técnicas preditivas*. Rio de Janeiro: Qualitymark/ABRAMAN, 2002.
- KARDEC, A; LAFRAIA, J. *Gestão estratégica e confiabilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark/ABRAMAN, 2002.
- KENNEDY, R. *Examining The Process of RCM and TPM – What Do They Ultimately Achieve and Are The Two Approaches Compatible?* Australia: The Plant Maintenance Resource Center, 2006.
- LAFRAIA, J. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark/Petrobras, 2001.

- LEWIS, E. E. *Introduction to Reliability Engineering*. 2. ed. Evanston, Illinois, EUA: John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- LUCATTELLI, M. V.; OJEDA, R. Proposta de aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em estabelecimentos assistenciais de saúde. II Congresso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica. Congresso... Habana, 2001.
- MÁRQUEZ, A.C.; et al. The maintenance management framework. A practical view to maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 15, n. 2, pp. 167-178, 2009.
- MENDES, A. A. *Manutenção Centrada em Confiabilidade: Uma abordagem Quantitativa*. UFRGS, 2011.
- MOUBRAY, J. *Manutenção Centrada em Confiabilidade*. São Paulo: Aladon, 2000, 426p.
- NASCIF, J.; DORIGO, L. C. *Manutenção orientada para resultados*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- PALADY, P. *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos*. São Paulo: IMAM, 1997.
- PALMER, D. O. C. *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2000.
- PEREIRA, F. J.; SENA, F. *Fiabilidade e sua aplicação à Manutenção*. Porto: Publindústria, 2012.
- PEREIRA, M. J. M. *Engenharia de Manutenção: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.
- _____. *Técnicas Avançadas de Manutenção*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.
- PINTO, A. K.; NASCIF, J. A. *Manutenção: função estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 341p.
- PYZDEK, T.; KELLER, P. A. *Seis Sigma: Guia do Profissional, um guia completo para Green Belts, Black Belts e gerentes de todos os níveis*. 3. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2001.
- RAUSAND, M. *Reliability Centered Maintenance*. *Engineering and System Safety*, v. 60, n. 2, p. 121-132, 1998.
- RIBEIRO, J. L. D.; SILVA, A. *Aplicação da manutenção centrada na confiabilidade para o desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis*. ENEGEP, 2009.
- SANTOS, W.B.; COLOSIMO, E.A.; MOTTA, S.B. Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório. *Revista Gestão e Produção*, v. 14, n. 1, pp. 193-202, 2007.
- SAMPIERI, H. S.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. *Metodologia de pesquisa*. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação. 4. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2005.

SIQUEIRA, I. P. Manutenção Centrada em Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005, 408p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 1999. p.477-498.

SOUZA, F. J. Melhoria do pilar manutenção planejada da TPM através da utilização do RCM para nortear as estratégias de manutenção. UFRGS, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. TPM/MPT: Manutenção Produtiva Total. São Paulo: Instituto IMAM, 1993.

THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. 13 ed. São Paulo: Cortez, 2004.

VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. São Paulo: Atlas, 1998.

VERRI, L. A. Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial: Aplicação Prática. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

WIREMAN, T. Delevoping Performance Indicators for managing Maintenance . New York: Industrial Press Inc., 1998. 256p.

WYREBSKI, J. Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado. UFSC, 1997. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

XENOS, H. G. Gerenciando a manutenção produtiva. Nova Lima: INDG tecnologia e serviços, 2004.

ZAIIONS, D. R. Manutenção Industrial com Enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade. UFRGS, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.