

TAUANA BARBOSA DE OLIVEIRA SIQUEIRA

**Aplicação dos conceitos de engenharia de confiabilidade e da
ferramenta FMEA em uma indústria de bebidas**

Tauana Barbosa de Oliveira Siqueira

**Aplicação dos conceitos de engenharia de confiabilidade e da
ferramenta FMEA em uma indústria de bebidas**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá - SP
2016

S618a	Siqueira, Tauana Barbosa de Oliveira Aplicação dos conceitos de engenharia de confiabilidade e da ferramenta FMEA em uma indústria de bebidas / Tauana Barbosa de Oliveira Siqueira – Guaratinguetá, 2016. 63 f : il. Bibliografia: f. 61-63 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva 1. Confiabilidade (Engenharia). 2. Falha de sistema (Engenharia). 3. Manutenção produtiva total. I. Título CDU 658.56
-------	--

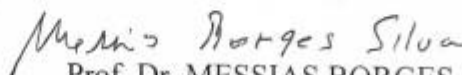
TAUANA BARBOSA DE OLIVEIRA SIQUEIRA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

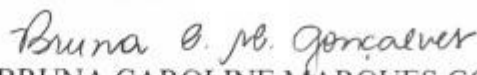
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. ANEIRSON FRANCISCO DA SILVA
UNESP-FEG


Prof. Dra. BRUNA CAROLINE MARQUES GONÇALVES
UNESP-FEG/UNIFATEA

Dezembro de 2016

DADOS CURRICULARES

TAUANA BARBOSA DE OLIVEIRA SIQUEIRA

NASCIMENTO	04.11.1993 – São José dos Campos/SP
FILIAÇÃO	Marcos Rodolfo de Oliveira Siqueira Nair Barbosa de Oliveira Siqueira
2012/2016	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

De modo especial, ao meu noivo, por me
mostrar que os limites só existem para serem
superados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as vezes em que me acolheu nos períodos difíceis e pelas vezes que me direcionou ao caminho das conquistas.

Ao meu orientador Professor Dr. Messias Borges Silva, pelo suporte e auxílio durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais, por me ensinarem que com dedicação e trabalho duro você pode alcançar qualquer um de seus sonhos, o que não significa que será fácil.

Aos meus amigos que estiveram comigo ao longo dessa jornada, dividindo muitas angústias e alegrias juntos.

“O sofrimento é passageiro, desistir é para sempre.”

Lance Armstrong

RESUMO

A busca incessante por produtividade com baixos custos e primazia em qualidade, tornou a manutenção uma das principais funções estratégicas nas indústrias. Este setor de suporte às demais áreas fabris tem o objetivo de manter os equipamentos confiáveis e com altos índices de performance, garantindo a disponibilidade das máquinas. Dessa forma, os serviços preventivos e preditivos são primordiais na gestão da manutenção de qualquer empresa que busca a excelência operacional. Sendo assim, mediante fundamentação teórica, este trabalho retratará o estudo e a aplicação de conceitos da Engenharia de Confiabilidade e de sua ferramenta FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) em uma indústria de bebidas, setor que corresponde a uma fração significativa do valor adicionado das indústrias de transformação do Brasil. Este setor também é responsável por dezenas de milhares de postos de trabalho. O estudo teve como enfoque a identificação, ocorrência e severidade das falhas e avaliação da solução dos problemas por meio da análise dos modos de falha e seus efeitos.

PALAVRAS-CHAVE: Confiabilidade. Disponibilidade. Análise de modos de falhas e efeitos. Weibull.

ABSTRACT

The incessant quest for productivity with low costs and primacy in quality has made maintenance one of the key strategic functions in industries. This sector of support to the other manufacturing areas has the objective of keeping the equipment reliable and with high levels of performance, ensuring the availability of the machines. In this way, preventive and predictive services are paramount in the maintenance management of any company that seeks operational excellence. Thus, based on theoretical basis, this work will portray the study and application of Reliability Engineering concepts and its tool FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) in a beverage industry, a sector that corresponds for a significant fraction of the added value of industries of transformation in Brazil, in addition to being responsible for tens of thousands of jobs. The study will focus on the identification, occurrence and severity of the faults to then evaluate the solution of the problems through the analysis of failure modes and their effects.

KEYWORDS: Reliability. Availability. Failure mode and effect analysis. Weibull.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Técnicas de manutenção em processo de modificação.	17
Figura 2 – Métodos de Manutenção Planejada.	17
Figura 3 – Etapas do processo FMEA.	22
Figura 4 – Escala para classificar a severidade dos modos de falha.	23
Figura 5 - Escala para classificar a probabilidade de ocorrência dos modos de falha.	23
Figura 6 - Escala para classificar a probabilidade de detecção dos modos de falha-efeito.	24
Figura 7 – Curva da banheira	25
Figura 8 – Etapas da estrutura de análise estatística dos programas estatísticos.	30
Figura 9 – Planta esquemática da área de envase.	35
Figura 10 – Estruturação para condução da pesquisa-ação.	36
Figura 11 – MTBF acumulado das linhas de produção da Filial de Jacareí.	37
Figura 12 – MTBF acumulado dos equipamentos da linha 8.	38
Figura 13 – Tendência linear do MTBF da Enchedora 1 da linha 8.	38
Figura 14 – Teste Anderson-Darling realizado no software Minitab® 17 com os tempos entre falhas da Enchedora 1.	40
Figura 15 – Gráficos de FDP, função confiabilidade e taxa de falha da Enchedora 1.	41
Figura 16 – Diagrama de Pareto das falhas nos subconjuntos/componentes da Enchedora 1 da linha 8.	42
Figura 17 – Planilha FMEA para Selo Mecânico.	44
Figura 18 – Planilha FMEA para Motor de indução trifásico (1/3).	45
Figura 19 – Planilha FMEA para Motor de indução trifásico (2/3).	46
Figura 20 – Planilha FMEA para Motor de indução trifásico (3/3).	47
Figura 21 – Planilha FMEA para Eixo (1/2).	48
Figura 22 – Planilha FMEA para Eixo (2/2).	49
Figura 23 – Planilha FMEA para Redutor (1/2).	50
Figura 24 – Planilha FMEA para Redutor (2/2).	51
Figura 25 – Planilha FMEA para Cardan (1/2).	52
Figura 26 – Planilha FMEA para Cardan (2/2).	53
Figura 27 – Planilha FMEA para Cilindro/Pistão.	54
Figura 28 – Planilha FMEA para Estrela.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ERP	Enterprise Resource Planning
FDP	Função Densidade de Probabilidade
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MBTF	Mean Time Between Failures
RCM	Reliability Centered Maintenance
RPN	Risk Priority Number
TRP	Transporte

LISTA DE SÍMBOLOS

t	tempo
σ	desvio padrão
μ	média
λ	taxa de falha
t_o	mediana de t
α	desvio padrão do logaritmo de t
β	constante de forma
η	constante de escala
x_i	classificação do valor acumulado
E_i	classificação do valor estimado acumulado para a distribuição assumida
p	probabilidade que mede a evidência contra a hipótese nula

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO	14
1.2	MOTIVAÇÃO	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO	16
2.1.1	Breve histórico	16
2.1.2	Principais tipos de manutenção	17
2.1.2.1	Manutenção Corretiva	18
2.1.2.2	Manutenção Preventiva	18
2.1.2.3	Manutenção de Rotina	18
2.1.2.4	Manutenção Preditiva	19
2.2	MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE	19
2.2.1	Objetivo	19
2.2.2	Função	20
2.2.3	Falha	20
2.2.4	Modo de Falha	20
2.2.5	Causa da Falha	21
2.2.6	Efeito de Falha	21
2.2.7	FMEA	21
2.3	FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE E TAXA DE FALHA.....	24
2.3.1	Curva da Banheira	25
2.3.2	Distribuições de Probabilidade	26
2.3.2.1	Distribuição Normal	26
2.3.2.2	Distribuição Exponencial	26
2.3.2.3	Distribuição Lognormal.....	27
2.3.2.4	Distribuição Weibull	27
2.3.2.5	Teste de adequação	28
2.3.2.6	Ensaio censurado	29
2.4	MINITAB	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	32

3.2	DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	33
3.2.1	Fluxo de Manutenção	33
3.2.2	Equipamentos da área de envase	34
3.3	MÉTODO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	ANÁLISE DE DADOS	37
4.2	DESENVOLVIMENTO DO FMEA.....	42
4.3	MEDIDAS DE CONTROLE	57
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	61
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

1 INTRODUÇÃO

A competitividade no mercado tem se tornado mais acirrada dado o cenário atual em que as empresas buscam cada vez mais aumentar a qualidade de seus produtos, melhorar a eficiência e produtividade de suas linhas mantendo baixos custos. Segundo Júnior (2011), as organizações têm enfrentado uma pressão maior a cada ano para melhorar os indicadores de produtividade, disponibilidade e confiabilidade, como consequência diferentes áreas de uma indústria tornam-se aliadas, pois participam direta ou indiretamente de atividades conjuntas para proporcionar melhores práticas de trabalho.

Um dos setores primordiais no alcance de um altíssimo nível de performance industrial é o setor da manutenção. A manutenção é essencial para manter os equipamentos operando com sua capacidade exigida ou mesmo superior a mínima requerida e se tornou uma função estratégica dentro de uma organização fabril (Cardoso, 2004).

Com isso, o estudo da Engenharia de Confiabilidade com suas metodologias e ferramentas de gestão são indispensáveis para garantir que as empresas de classe mundial mantenham a competitividade e perpetuação no mercado.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aplicar os conceitos de Engenharia de Confiabilidade associado a ferramenta FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) para identificar as falhas que mais impactam nos equipamentos de uma linha de produção de uma indústria de bebidas, tornando possível a criação de medidas de controle que minimizem ou eliminem as causas das falhas.

Para isto foi realizado um estudo de caso no equipamento com o maior potencial de ganho em disponibilidade, tendo em vista o mapeamento das possíveis falhas que o equipamento pode apresentar e assim, poder avaliar a importância do planejamento de ações centradas em confiabilidade e atuação baseada em histórico de falhas.

1.2 MOTIVAÇÃO

O estudo da Engenharia de Confiabilidade e das suas principais ferramentas é a forma mais eficaz de se obter a minimização de custos e geração de produtos confiáveis. Segundo

O'Connor (2012), o método de análise de confiabilidade mais usado e efetivo é o FMEA, ferramenta que será aplicada ao final deste trabalho no estudo de caso.

A justificativa que embasa este trabalho é a necessidade da empresa em questão de reduzir as falhas nos equipamentos de produção que afetam negativamente os indicadores de manutenção da unidade fabril. Encontrar formas adequadas de priorizar a resolução das falhas com altas criticidades do equipamento com maior potencial de ganho em disponibilidade é a principal vertente deste trabalho, na qual posteriormente deve ser avaliada a aplicabilidade das ações de controle (outputs do estudo de caso) nos demais equipamentos da empresa.

Apesar do tema Confiabilidade ser bastante abordado internamente nesta indústria, há poucos planos de manutenção baseados no histórico de falhas e na sua prevenção, sendo assim, ao final deste trabalho buscar-se-á não só apenas a diminuição das falhas, aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, como também disseminar os impactos positivos das manutenções preventivas e preditivas dentro de uma indústria de bebidas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em 5 capítulos, com os conteúdos apresentados em sequência.

O capítulo 1 contém uma breve introdução sobre o tema do trabalho, objetivo e motivação deste estudo.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, com uma introdução sobre a história da manutenção, abordando algumas mudanças que ocorreram ao longo dos anos nesse setor e também são retratados os principais tipos de manutenções existentes. Em seguida são apresentados os conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade e definido o que é a ferramenta FMEA e como ela deve ser utilizada.

O capítulo 3 descreve os materiais e métodos usados no desenvolvimento deste trabalho, contextualizando as circunstâncias que levaram a realização do estudo. São apresentadas características da empresa e do seu processo de produção, assim como sua gestão de coleta de dados.

O capítulo 4 traz o raciocínio usado para analisar os dados, desenvolvimento do estudo de caso e a discussão dos resultados encontrados e a sua relevância para uma indústria que busca aprimorar as estratégias de manutenção para se atingir patamares elevados de segurança, qualidade e produtividade.

Enfim, no capítulo 5 são feitas as conclusões deste trabalho, assim como as recomendações para a aplicação deste estudo em outras unidades fabris.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

2.1.1 Breve histórico

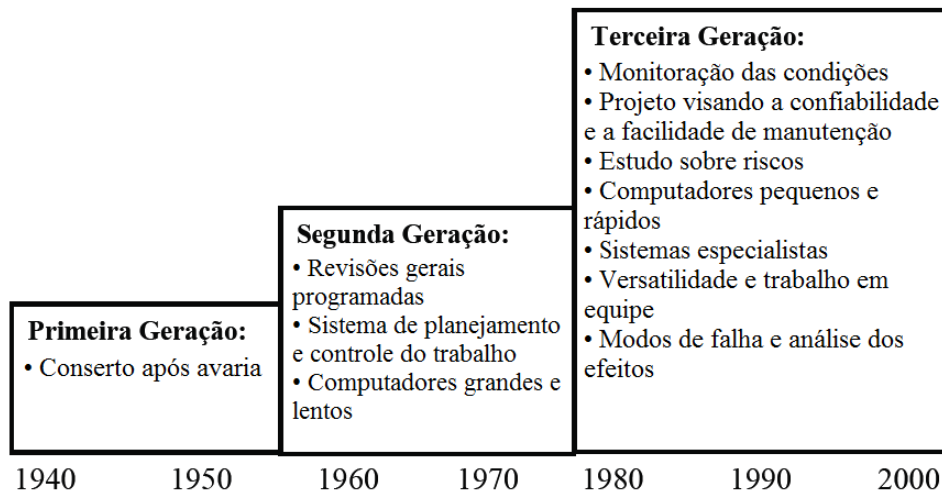
Segundo Moubray (2003), podemos dividir a evolução da manutenção em três gerações distintas que se evidenciam pela evolução tecnológica dos meios de produção, pela criação de novas metodologias e ferramentas nas atividades de manutenção (Figura 1).

A primeira geração engloba o período até a II Guerra Mundial e tinha como foco a resolução da avaria quando a falha já havia ocorrido. Os equipamentos eram simples e superdimensionados, facilitando a recuperação destes e não necessitando de planos de manutenção mais elaborados. As atividades de manutenção baseavam-se em serviços de limpeza e lubrificação e tarefas corretivas para o reparo de falhas.

A segunda geração iniciou-se aproximadamente em 1950 e se estendeu até meados dos anos 70. Nesta geração evidenciou-se a necessidade de uma maior mecanização para atender as crescentes demandas de produtos, uma vez que a escassez da mão-de-obra era uma das grandes consequências da guerra. A dependência industrial cada vez maior e as constantes falhas levaram a pesquisa e o desenvolvimento de técnicas de manutenção preventivas que tinham como foco a minimização dos impactos das falhas nos processos e meios de produção.

A terceira geração é caracterizada pelo crescimento da mecanização e automação que levantaram questões como confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Simultaneamente a isto, os custos de manutenção elevados, a crescente demanda dos produtos industrializados, a necessidade de mão-de-obra cada vez mais especializada, correlacionados à competitividade em escala mundial, tornaram inviável a utilização de equipamentos superdimensionados e se fez indispensável a redimensionalização destes baseados em menores gastos, buscando uma maior produtividade e alta qualidade. Com o alto nível de complexidade das instalações industriais a manutenção passou a ser essencial para manter os padrões de qualidade dos produtos e garantir a funcionalidade das máquinas o maior tempo possível. Ratificando a importância de conquistar confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade de equipamentos elevadas. Manutenibilidade, segundo Cerveira e Sellitto (2015), é a descrição quantitativa de reparo pelo tempo médio que a equipe de manutenção irá gastar para retornar o equipamento em funcionamento.

Figura 1 - Técnicas de manutenção em processo de modificação.

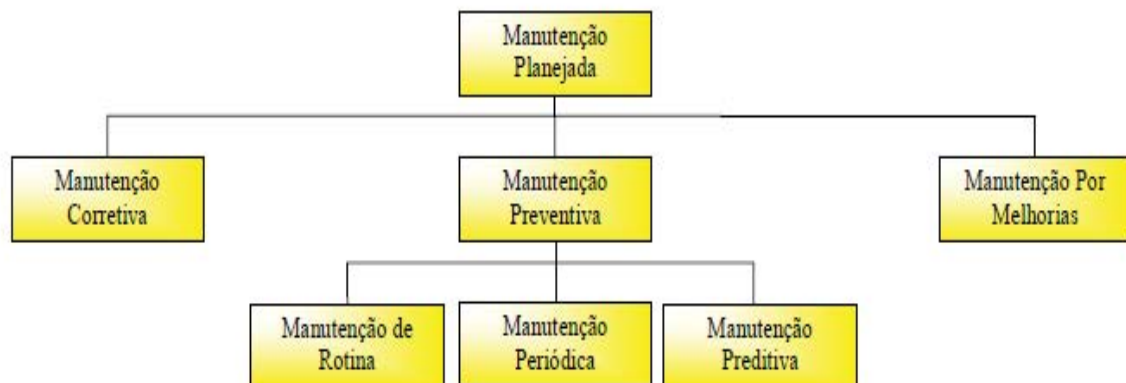


Fonte: Moubray (2003).

2.1.2 Principais tipos de manutenção

Quando se aborda o tema métodos de manutenção, há diversas formas de classificação. Conforme Lima (2000), uma das maneiras mais usuais é classificá-las por manutenção planejada e não-planejada. Considera-se este tipo de manutenção puramente corretiva. Para Patton (1995) a manutenção planejada pode ser dividida em: (i) Manutenção Corretiva, (ii) Manutenção Preventiva; e (iii) Manutenção por Melhorias. Além do que, a Manutenção Preventiva pode ser subdividida em: (i) Manutenção de Rotina, (ii) Manutenção Periódica e (iii) Manutenção Preditiva.

Figura 2 - Métodos de Manutenção Planejada.



Fonte: Zaions (2003).

2.1.2.1 Manutenção Corretiva

De acordo com a NBR-5462 (1994), pode-se definir manutenção corretiva como aquela em que é realizada após a ocorrência de uma falha para reestabelecer a função inicial do sistema ou equipamento. Os principais pontos negativos deste tipo de manutenção são: (i) a aleatoriedade das falhas e (ii) impacto negativo da falha inesperada de um determinado componente pode impactar negativamente em outros componentes, gerando custos adicionais. No entanto, conforme Bloch e Geitner (1997) a manutenção corretiva é irremediável, pois há modos de falha que não ocorrem de forma sistêmica e não são detectados por nenhuma forma de inspeção.

2.1.2.2 Manutenção Preventiva

De acordo com a NBR-5462 (1994), define-se manutenção preventiva como sendo aquela que é efetuada em intervalos pré-determinados, ou ainda de acordo com critérios preestabelecidos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. Suas principais finalidades são: detectar potenciais de falha, identificar defeitos nos seus estágios iniciais e manter as condições de um componente em bom estado de uso.

Conforme Wyrebski (1997), a manutenção preventiva apresenta vantagens e desvantagens. Vantagens: (i) assegura a continuidade do funcionamento das máquinas; e (ii) facilita a execução da programação de produção. Desvantagens: (i) programa bem estruturado; (ii) equipe de técnicos eficazes e treinados; (iii) plano de manutenção; e (iv) peças são trocadas antes de atingirem seus limites de vida.

A manutenção preventiva, quando bem executada deverá permitir a máxima utilização do equipamento, reduzir tempo de máquina parada e custos associados à manutenção.

2.1.2.3 Manutenção de Rotina

A manutenção de rotina é aquela realizada diariamente para manter os componentes em bom estado de conservação. As atividades são simples, como por exemplo, checar, limpar, lubrificar, reapertar parafusos e devem ser atribuídas aos operadores para que a equipe de manutenção possa centralizar suas ações em atividades mais complexas e que necessitem de um conhecimento técnico mais específico. De acordo com Biehl e Sellitto (2015), a

manutenção autônoma ou manutenção de rotina tem foco em reduzir os custos de um equipamento durante sua vida útil, combinando a manutenção preventiva e melhorias sustentáveis.

Esta manutenção baseia-se no aumento da eficiência da equipe fabril, uma vez que as funções mais simples de manutenção podem ser ministradas com os operadores dos equipamentos. Aperfeiçoando as habilidades da operação é possível melhorar a eficiência do equipamento.

2.1.2.4 Manutenção Preditiva

Conforme Zaions (2003), manutenção preditiva é aquela em que se monitora as condições físicas ou o desempenho dos componentes de um equipamento e, uma vez constatada anomalia, é realizada a intervenção. Podem ser monitoradas variáveis como: temperatura, vibração, ruídos, condições dos óleos lubrificantes ou pressão de um sistema.

A manutenção preditiva deverá prognosticar as falhas e permitir a intervenção na máquina apenas quando for constatada a real necessidade. Intervenções planejadas de manutenção têm se mostrado uma estratégia eficaz, mesmo que, ao longo do tempo, sua prática reduza a vida média de uso de componentes e subsistemas (TOAZZA; SELLITTO, 2015).

Entende-se por controle preditivo de manutenção, a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preditiva em um equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade do equipamento falhar assume valores indesejáveis (TAVARES, 1996).

2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

2.2.1 Objetivo

Segundo Moubray (2000) a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é referida como um processo usado para a determinação do que precisa ser feito para se assegurar que qualquer item físico continue as suas funções desejadas. Ao implementar a MCC são esperados: menores riscos à segurança e meio ambiente, aumento da capacidade operacional, redução dos custos, prolongamento da vida útil dos componentes de uma máquina, maior sinergia entre as áreas, melhorando o trabalho em equipe. Sua metodologia sistemática é suportada por sete questões, de acordo com Moubray (2000):

- I. Quais as funções do equipamento e os padrões de desempenho associados?
- II. Como o sistema pode falhar ao realizar essas funções?
- III. O que pode causar a falha funcional?
- IV. O que acontece quando uma falha ocorre?
- V. Quais podem ser as consequências, quando houver ocorrência da falha?
- VI. O que pode ser feito para detectar e prevenir a ocorrência da falha?
- VII. O que deverá ser feito se uma tarefa de manutenção não pode ser identificada?

Para a aplicação correta da ferramenta FMEA, de acordo com os conceitos de RCM, faz-se necessário o conhecimento prévio das definições a seguir.

2.2.2 Função

Todo componente ou equipamento deve exercer um serviço para o qual foi projetado. Da definição de Lafraia (2001), “Toda e qualquer atividade que o item desempenha, sob o ponto de vista operacional. ”

2.2.3 Falha

Segundo a Norma NBR 5462 (1994) a falha é caracterizada pelo término da capacidade de um item em desempenhar sua função requerida. Não é necessário que um item ou equipamento perca sua capacidade total para ser considerada uma falha, uma queda de rendimento indesejada no seu desempenho já caracteriza uma falha.

2.2.4 Modo de Falha

Pode ser definida como uma condição atípica de trabalho, a forma com que o componente não executa sua função corretamente ou então descumpra as especificações para o qual foi projetado. Conforme Zaions (2003), qualquer estratégia que pretenda certificar as funções de um ativo deve ter uma identificação dos modos de falha dos itens muito bem estruturada, pois conhecendo os modos de falha de um sistema ou processo é possível se antecipar as consequências e implantar ações ou meios de controle que irão prevenir, minimizar ou corrigir a falha.

2.2.5 Causa da Falha

A causa da falha é o que antecede os modos de falha, é o acontecimento que irá induzir a manifestação dos modos de falha. As falhas estão associadas a: falha de projeto; defeitos do material; deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes; defeitos de instalação e montagem; condições de serviço não previstas ou fora de projeto; deficiências da manutenção; ou operação indevida (BLOCH e GEITNER, 1997).

2.2.6 Efeito de Falha

Os efeitos de falha são as consequências dos modos de falha, o “sintoma” que o sistema irá apresentar dado à existência de um modo de falha. Conforme Garcia (2013), as análises dos efeitos devem ser realizadas supondo que nenhuma medida preventiva exista contra a falha. É pelo meio do efeito de falha que se determina qual o impacto dos modos de falha causado na máquina ou processo.

2.2.7 FMEA

O FMEA teve origem nos Estados Unidos inicialmente como um padrão do exército americano para avaliar a confiabilidade de sistemas e analisar as possíveis falhas. Segundo a norma NBR 5462 (1994), com a utilização do FMEA determinam-se os efeitos de cada modo de falha para os itens e para a função específica do conjunto, pois ele é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item.

Esta ferramenta é uma técnica de análise e de priorização que deve ser utilizada por uma equipe multidisciplinar para mapeamento dos modos potenciais de falha e suas causas, sendo possível, após o estudo da severidade, a ocorrência e detecção do modo de falha atuar naquelas em que o nível de criticidade é maior.

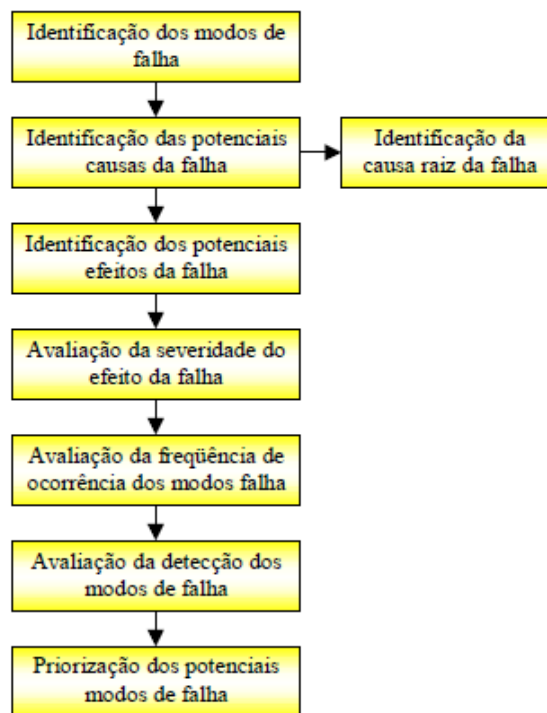
- Conforme Lafraia (2001), alguns dos benefícios da aplicação do FMEA são:
- Redução do tempo do ciclo de um produto.
- Redução do custo global de projetos.
- Melhorar o programa de testes de produtos.
- Reduzir falhas potenciais em serviço.

- Reduzir os riscos do produto para o consumidor (responsabilidade civil pelo produto).
- Desenvolver uma metodologia para a prevenção de defeitos ao invés de detecção e correção.

Ainda, é possível acrescentar aumento da disponibilidade do equipamento e alocação de mão-de-obra e serviços de forma mais eficaz.

Conforme Zaions (2003), conhecendo o sistema a ser analisado, as funções e as falhas, o processo de aplicação do FMEA pode ser resumido nas atividades da Figura 3.

Figura 3 - Etapas do processo FMEA.



Fonte: Zaions (2003).

O FMEA é mais do que uma formalidade e preenchimento de padrão. Quando bem executado irá proporcionar reflexões e capacitação do grupo para solucionar os problemas mapeados. As informações devem ser organizadas a partir do preenchimento de um formulário, cujo os principais campos estão descritos a seguir:

Cabeçalho: identifica a equipe participante do estudo, o sistema e seus subsistemas em questão, data do documento e local onde está sendo realizado o estudo.

Equipamento: identificação por codificação e nome.

Função: é a etapa do processo ou descrição sucinta da operação em análise (ALVES; COSTA, 2004).

Modo de Falha: descreve a forma com que o processo pode falhar.

Efeitos da Falha: são as consequências que os modos potenciais de falha causam no sistema. Neste campo, descreve-se como os clientes e/ou sistema podem sofrer caso o modo de falha não seja prevenido ou corrigido (SIQUEIRA, 2005).

Severidade (S): é um índice que irá quantificar a gravidade do efeito sobre o sistema. A escala de classificação de severidade pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 - Escala para classificar a severidade dos modos de falha.

Severidade	Severidade do Efeito	Índice
Muito alta	Envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento dos requisitos legais.	10 9
Alta	Provoca um alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperante. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou descumprimento de requisitos legais.	8 7
Moderada	A falha ocasiona razoável insatisfação ao cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema.	6 5 4
Baixa	A falha causa pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará, provavelmente, leves variações no desempenho do sistema.	3 2
Marginal	A falha não teria efeito real no sistema. O cliente, provavelmente, nem notaria a falha	1

Fonte: Lafraia (2001).

Causa da Falha: descreve a causa raiz do modo de falha.

Ocorrência (O): estimativa da frequência esperada de uma causa de falha. Deve ser fundamentada em um histórico de falhas ou dados de fornecedores (Figura 5).

Figura 5 - Escala para classificar a probabilidade de ocorrência dos modos de falha.

Frequência de Falha	Possíveis Taxas de Falha	Índice
Muito alta: falha é quase inevitável	1 em 2	10
	1 em 8	9
Alta: falhas repetidas	1 em 20	8
	1 em 40	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 1000	4
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 4000	3
	1 em 200000	2
Remota	≤ 1 em 10^6	1

Fonte: Lafraia (2001).

Detecção (D): índice que quantifica qual a probabilidade da falha ser detectada antes de afetar o sistema ou chegar ao cliente (Figura 6).

Figura 6 - Escala para classificar a probabilidade de detecção dos modos de falha-efeito.

Detecção	Detecção do Efeito	Índice
Absolutamente indetectável	O modo de falha não será detectável com certeza.	10
Muito baixa	O modo de falha é provavelmente muito pouco detectável.	9
Baixa	Não é provável que o modo de falha seja detectável.	8 7
Moderada	Há 50 % de chance de detectar o modo de falha.	6 5
Alta	Há boa chance de detectar o modo de falha.	4 3
Muito alta	O modo de falha será, certamente, detectado durante a operação do sistema.	2 1

Fonte: Lافraia (2001).

Índice de Risco: indica o nível de risco da falha para o sistema em questão.

O RPN (Risk Priority Number) é calculado pela multiplicação dos três índices: S,O e D; de acordo com a equação abaixo:

$$RPN = Severidade (S) \times Ocorrência (O) \times Detecção (D) \quad (1)$$

A análise da criticidade irá estabelecer prioridade para resolução das falhas de acordo com a influência no processo.

2.3 FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE E TAXA DE FALHA

Tratar a confiabilidade como uma probabilidade é utilizar métodos estatísticos para quantificação. A confiabilidade com valor 100% é almejada, no entanto sempre haverá incertezas quando estudamos as falhas. Segundo O'Connor (2012), a aplicação da estatística na Engenharia de Confiabilidade é complexa, pois muitas vezes a variável em questão é função do tempo, ou seja, manipular dados de confiabilidade de um histórico irá gerar previsões futuras que não são totalmente credíveis, além disso, fatores não-estatísticos podem influenciar nos resultados de um estudo, como por exemplo: alterações de projeto e treinamento da equipe técnica. Para determinar a fase do ciclo de vida em que o equipamento se encontra e estimar a disponibilidade do mesmo, é necessário obter modelos probabilísticos,

tanto para os tempos entre falhas, como para os tempos até os reparos (CARNAÚBA; SELLITTO, 2013).

A função distribuição acumulada indica a proporção total de itens que falham ao longo do tempo até a falha do último item:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

Sendo $R(t)$ a confiabilidade ou função distribuição acumulada da ocorrência de componentes que não falharam.

A função densidade de probabilidade é igual a:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

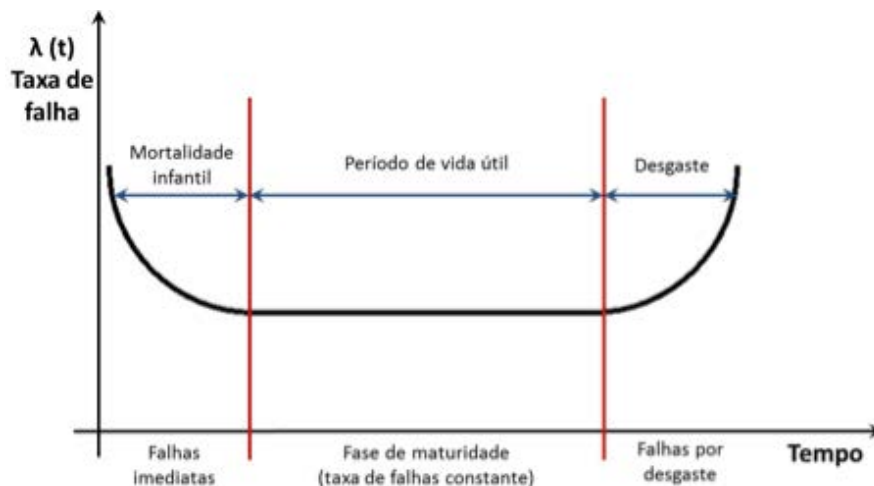
A função de risco ou a taxa de falha $h(x)$ é igual a:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (4)$$

2.3.1 Curva da Banheira

A curva da banheira representa as fases da vida de um componente, explicitando a taxa de falha de um equipamento em função do tempo.

Figura 7 – Curva da banheira



Fonte: Lafraia (2001).

Os três períodos de vida da curva da banheira são mortalidade infantil, período de vida útil e desgaste.

Mortalidade Infantil: a taxa de falha decresce com o tempo e é neste período que ocorrem as falhas prematuras decorrentes de erros de aplicação ou instalação.

Período de vida útil: a taxa de falha é constante e aleatória, sendo difícil prever a ocorrência da falha que provém de causas como erro humano durante uso do equipamento, fatores de projeto subestimados, aplicação indevida, entre outros. Segundo Diedrich e Sellitto (2015), a manutenção preditiva, junto com um programa de boas práticas operacionais pode estender esse período e adiar o início da fase por desgaste.

O fim da vida útil do equipamento ocorre no período de desgaste, com a taxa de falha crescendo incessantemente. As principais causas as falhas por desgaste natural são por corrosão, degradação, deterioração, fadiga ou fluência.

2.3.2 Distribuições de Probabilidade

2.3.2.1 Distribuição Normal

Segundo O'Connor (2012), muitos fenômenos naturais seguem o padrão de distribuição normal e este é o principal motivo para esta distribuição ser a mais utilizada dentre as demais.

A função densidade de probabilidade da distribuição normal é igual a:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5)$$

Sendo σ o desvio padrão, μ a média e t o tempo.

A função confiabilidade é igual a:

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (6)$$

2.3.2.2 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial reproduz o período de vida útil da curva da banheira, onde a taxa de falha é constante:

$$\lambda(t) = \text{constante}$$

A função densidade de probabilidade da distribuição exponencial é igual a:

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \quad (7)$$

A função confiabilidade é igual a:

$$R(t) = \exp(-\lambda \cdot t) \quad (8)$$

Conforme Santos e Sellitto (2016), a distribuição exponencial descreve sistemas sem memória, ou seja, quando o decorrer do tempo não irá afetar a probabilidade de falha.

2.3.2.3 Distribuição Lognormal

A distribuição lognormal é muito versátil e caracteriza apropriadamente ajustes de confiabilidade, pois possui uma diversidade de formas.

A função densidade de probabilidade é igual a:

$$f(t) = \frac{1}{\alpha \cdot t \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log t - \log t_o}{\alpha} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Sendo t o tempo de falha, α o desvio padrão do logaritmo de t , t_o a mediana de t .

2.3.2.4 Distribuição Weibull

Conforme Bassetto (2007), a distribuição Weibull é excelente para retratar o tempo de vida de equipamentos ou produtos formados por diversas partes (componentes) cuja falha ocorre quando uma dessas partes tem seu funcionamento comprometido. Uma de suas vantagens é que esta distribuição pode descrever taxas de falha decrescentes, crescentes ou constantes. Com isso a distribuição torna-se mais adequada para representar inúmeros conjuntos, como por exemplo: mancais, componentes eletrônicos, entre outros.

A função densidade de probabilidade da distribuição Weibull é igual a:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_o}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t-t_o}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (10)$$

A função confiabilidade é igual a:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-t_o}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (11)$$

E a taxa de falha:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\left(\frac{t-t_o}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \quad (12)$$

- t_o é a constante de localização, definindo a origem da distribuição.
- η é a constante de escala, que modifica a curva da distribuição ao longo do tempo.
- β é a constante de forma, que irá controlar a forma da curva.

2.3.2.5 Teste de adequação

O teste de adequação deve ser realizado para determinar qual a distribuição mais apropriada para retratar a confiabilidade do equipamento em estudo.

Para Bassetto (2007), o teste do X^2 é bastante utilizado devido sua capacidade de aplicação em qualquer distribuição, sendo necessário ter apenas uma quantidade apreciável de amostras.

O cálculo do X^2 pode ser feito da seguinte forma:

$$X^2 = \frac{(x_i - E_i)^2}{E_i} \quad (13)$$

- X_i : classificação do valor acumulado.
- E_i : classificação do valor estimado acumulado para a distribuição assumida.

O teste de adequação Kolmogorov-Smirnov (K-S) também pode ser usado para determinar a distribuição adequada quando são ensaiados testes de confiabilidade. Sua vantagem está na simplicidade em seu uso e na pequena quantidade de amostras necessárias

para se obter resultados confiáveis. Quando os dados forem baseados em classificações acumuladas, pode ser usado juntamente com suas tabelas probabilísticas.

Outro teste utilizado para verificar se os dados seguem uma distribuição específica é a estatística de Anderson-Darling. As hipóteses para o teste Anderson-Darling são:

- H_0 : Os dados seguem uma distribuição específica
- H_1 : Os dados não seguem uma distribuição específica

O teste pode ser feito por meio da verificação do valor de p que é uma probabilidade que mede a evidência contra a hipótese nula.

Conforme o suporte do Minitab® 17 pode-se comparar o valor p ao α (nível de significância do risco de rejeitar a hipótese H_0 mesmo sendo ela verdadeira) para decidir se deve rejeitar a hipótese nula (H_0). Caso o valor de p for menor ou igual a α , rejeita-se H_0 ou então se o valor p for maior que α , aceita-se H_0 . Usualmente o valor de α é 0,05.

No caso do Minitab® 17 nem sempre a estatística de Anderson-Darling terá um valor p e com isso, para verificar qual distribuição é a melhor, deve-se comparar o valor da estatística de Anderson-Darling de cada distribuição e aquela que melhor representar os dados irá ter o menor valor no teste de aderência. Critérios adicionais deverão ser usados no caso das estatísticas obtidas serem próximas demais umas das outras.

2.3.2.6 Ensaios censurados

Medir a durabilidade de um produto por meio de testes pode acabar se tornando muito custoso, pois um produto pode levar muito tempo até falhar. Por isso os testes costumam terminar antes mesmo que todos os itens da amostra tenham falhado, é nesta situação em que se tem um ensaio censurado.

São três tipos de mecanismos de censura:

- Censura por tempo ou do tipo I: é aquela em que o teste será terminado após um período definido de tempo;
- Censura por falha ou do tipo II: é quando o teste é terminado após ter ocorrido falhas em uma quantidade específica dos itens que estão sendo testados;
- Censura do tipo aleatório: quando, durante o teste, um item é retirado sem ser atingida a falha.

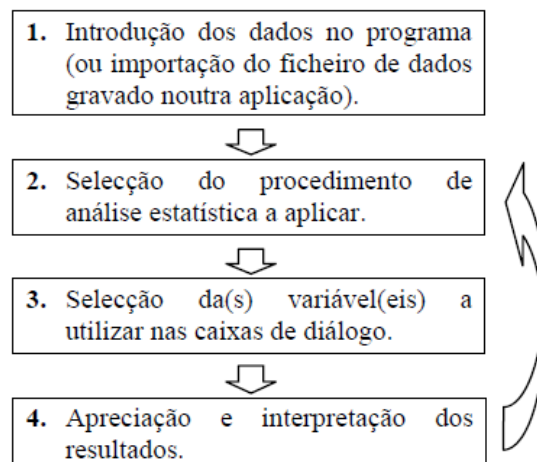
Mesmo quando um ensaio é censurado, devem-se usar todos os resultados procedentes dos testes, pois ainda assim os dados irão conter informações a respeito do tempo de duração dos produtos.

De praxe, o tratamento dos dados provenientes dos três tipos de censura é praticamente o mesmo. Mas existem vantagens de um tipo em relação ao outro que, segundo Bassetto (2007), vai depender das condições de realização dos testes e das informações do histórico do produto estudado.

2.4 MINITAB

Um software estatístico deve ser usado em conjunto com técnicas de estatísticas, não basta saber usar um programa sem conhecer os procedimentos teóricos que o concebeu. Segundo Alves e Cunha (2011), os programas estatísticos seguem uma estrutura de análise estatística de quatro etapas apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Etapas da estrutura de análise estatística dos programas estatísticos.



Fonte: Alves e Cunha (2011).

O Minitab® 17 é um software estatístico que possui várias funções, como: estatística descritiva, simulações e distribuições, inferência estatística elementar, análise da variância, regressão, análise de dados categóricos, métodos não paramétricos, análise de séries temporais, entre outros.

Neste trabalho foram usadas algumas análises de confiabilidade que estão incluídas no Minitab® 17 no tópico Análise de Distribuição. Neste tópico é possível examinar as

características de vida do produto em estudo e definir qual distribuição melhor se ajusta para representar estas características por meio da estatística Anderson-Daling.

Este software pode ser utilizado tanto para pesquisas acadêmicas quanto empresariais e, se utilizado em um nível mais avançado, pode até servir de base para gerenciamento de dados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão abordados os métodos utilizados para a realização do estudo de confiabilidade, os meios de coletas de dados, análise dos dados e os pontos de melhoria detectados com a produção deste trabalho.

Após a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre Engenharia de Confiabilidade e da ferramenta FMEA, foram estratificados todos os MTBFs das linhas de produção para encontrar o equipamento que possuía o maior impacto negativo no indicador, permitindo uma pesquisa mais detalhada dos seus componentes, sendo possível restringir o estudo e ações nos itens com maior potencial de ganho. Os tempos entre falhas coletados possibilitaram a identificação da distribuição que melhor representasse os testes de confiabilidade do equipamento crítico encontrado. Com o conhecimento do equipamento e seus respectivos componentes que mais falham, foi possível a realização do FMEA de acordo com a priorização necessária para alavancar o indicador MTBF.

Por fim, foi feita uma conclusão a cerca deste trabalho e da sua importância para diminuir os impactos que as paradas emergenciais do equipamento em estudo podem gerar para a fábrica e das correções que podem ser feitas para obter melhores resultados. Ao final foi feita uma avaliação da continuidade deste trabalho dentro da empresa.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Este trabalho foi realizado dentro de uma indústria de bebidas, na área de envase, na filial de Jacareí, São Paulo. Nesta indústria existem oito linhas de produção, onde três delas são linhas de garrafas retornáveis inteiras, outras três são linhas de latas e duas de longnecks. A fábrica funciona todos os dias da semana e 24 horas do dia e tem uma capacidade produtiva de 966 mil hectolitros por mês.

O equipamento em estudo foi a Enchedora de umas das linhas de longnecks (será tratada como linha 8). Embora a fábrica possua planos de manutenção preventiva, estes planos não estavam sendo eficazes, pois as paradas emergenciais estavam refletindo no decaimento do MTBF da Enchedora. Desta forma, a aplicação do estudo da Engenharia de Confiabilidade e a ferramenta FMEA no equipamento com maior número de falhas teve como objetivo de aprimorar a gestão na manutenção realizada dentro da empresa, contribuindo para redução das falhas na Enchedora da linha 8. Ao final, espera-se o aumento da disponibilidade da linha, permitindo também o aumento de produtividade.

3.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

3.2.1 Fluxo de Manutenção

A área de manutenção dentro da fábrica é segregada por equipes de manutenção preventiva (mecânica, elétrica, automação e instrumentação), manutenção corretiva (técnicos mecânicos e elétricos de atendimento emergencial) e uma equipe de planejadores que realizam toda a programação das atividades de manutenção dentro da fábrica.

A equipe de manutenção preventiva é responsável pela realização de todas as manutenções que são planejadas antecipadamente e possuem uma frequência determinada para sua execução. São atividades oriundas dos planos de manutenção e cada equipamento possui diversos planos para garantir seu correto funcionamento e manutenibilidade. Além disso, esta equipe é responsável pela execução da correção das anomalias encontradas durante as inspeções de rota.

A equipe de manutenção corretiva é responsável pelo atendimento emergencial de toda a fábrica e é responsável por manter o processo funcionando sem paradas devido a falhas de manutenção. São os técnicos de manutenção corretiva que realizam as inspeções de rota, que são inspeções planejadas com uma frequência específica de acordo com o equipamento avaliado, as inspeções de rota têm como finalidade encontrar defeitos ou identificar qualquer agente externo que possa causar uma parada na linha de produção se o problema não for corrigido a tempo.

É função dos planejadores planejar e programar todas as atividades de manutenção que as equipes de manutenção preventiva irão realizar e algumas atividades mapeadas para a equipe de manutenção corretiva. Os planejadores monitoram todas as atividades de manutenção que devem ser realizadas por meio de um sistema ERP e devem definir qual técnico irá executar a manutenção e quando ele deverá executar. É ainda responsabilidade do planejador verificar quais recursos são necessários para a manutenção e se realizar o pedido de compra quando devido.

O sistema ERP é utilizado para planejar e programar toda e qualquer tipo de manutenção realizada dentro da fábrica e mantém o histórico de tudo que já foi executado. Dessa forma é possível estimar o custo de manutenção do ano seguinte, levantar frequências, datas e executantes das manutenções já realizadas, o tempo médio para o andamento de uma determinada atividade, entre outros.

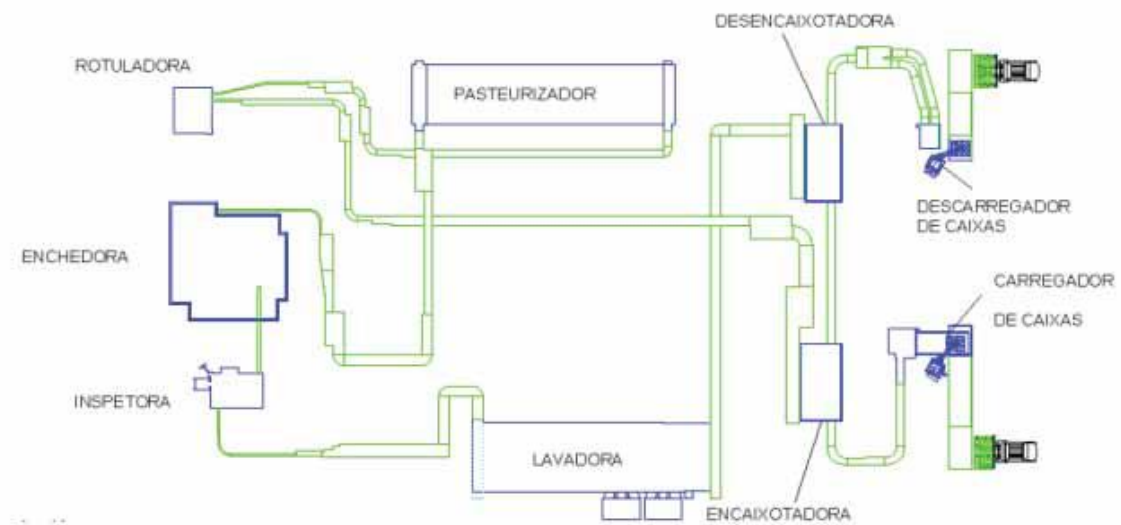
3.2.2 Equipamentos da área de envase

Abaixo estão os equipamentos existentes do processo de envase. Alguns equipamentos são específicos para linhas de latas ou longnecks e outros para garrafas retornáveis. Para a apresentação será seguida a sequência mais próxima da ordem de produção cujo produto deve percorrer pela área de envase:

- Despaletizadora: recebe os lotes de garrafas vazias ou latas e desempilha estes no transporte.
- Desencaixotadora: retira as garrafas retornáveis vazias dos engradados e envia as garrafas para um transporte diferente das caixas vazias.
- Lavadora de garrafas: é onde as garrafas são enviadas para sua esterilização, utiliza uma solução de soda cáustica a alta temperatura para o processo de lavagem e retirada dos rótulos preexistentes nas garrafas.
- Rinser: possui função semelhante à Lavadora de Garrafas, serve para esterilizar as latas e longnecks.
- Inspetor de Garrafas: inspeciona as garrafas que saem da Lavadora e verifica se há qualquer não conformidade no vidro, além de sujeira ou objetos no interior da garrafa.
- Enchedora: recebe o produto líquido da área de processos e enche as garrafas ou latas com a bebida.
- Recravadora: irá lacrar as latas já envasadas assim que estas saírem da Enchedora.
- Arrolhador: possui função semelhante à Recravadora, serve para tampar as garrafas assim que elas saírem da Enchedora.
- Inspetor de Nível: avalia o nível de enchimento das latas e garrafas e se não estiverem dentro dos limites irão ser separadas para descarte do produto e reciclagem das embalagens.
- Pasteurizador: equipamento onde a garrafa ou lata será pasteurizada, ou seja, são aquecidas a uma temperatura específica e por um determinado período de tempo para eliminar atividades microbiológicas existentes no líquido. É responsável direto pela qualidade final do produto uma vez que pode influenciar nas características sensoriais e validade da bebida.
- Rotuladora: coloca rótulos, imprime data de validade e lote nos produtos.
- Empacotadora: equipamento que embala as latas ou longnecks seja com plástico ou papel cartão. Ao final, tem-se os pacotes prontos para serem armazenados.

- Paletizadora: empilha os pacotes que saíram da Empacotadora sobre os paletes.
- Envolvedora: envolve os paletes já montados que saíram da paletizadora com um plástico para proteger os pacotes de quedas e escoriações leves. Assim é possível o manuseio dos paletes pelo empilhadeirista sem maiores riscos.
- Encaixotadora: coloca as garrafas cheias nos engradados.

Figura 9 - Planta esquemática da área de envase.



Fonte: Vicente (2012).

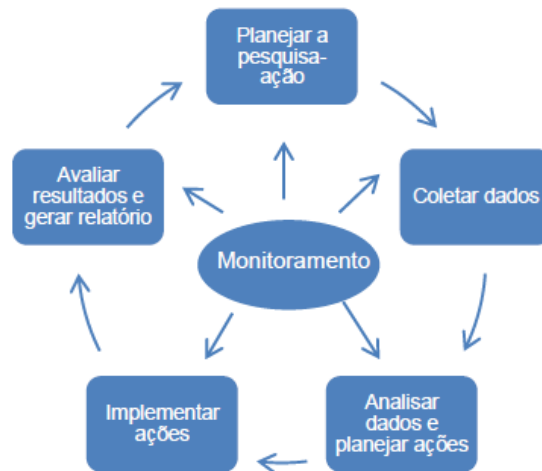
3.3 MÉTODO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS

A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa-ação, uma pesquisa com base empírica e realizada para solucionar um problema coletivo o qual os participantes cooperam ativamente no caso.

As fases a serem seguidas para uma pesquisa-ação são, segundo Coughlan e Coughlan (2002): planejar a pesquisa-ação, coletar dados, analisar os dados e planejar ações, implementar planos de ações e por fim, avaliar os resultados obtidos com o estudo e gerar relatórios para permitir o monitoramento e divulgação dos resultados.

O monitoramento é considerado uma metáfase:

Figura 10 - Estruturação para condução da pesquisa-ação.



Fonte: Adaptado de Coughlan e Coughlan (2002).

A partir da análise de dados de MTBF de cada uma das oito linhas foi concordada a necessidade de se realizar um estudo de confiabilidade nesta empresa. Além disso, a quantidade de falhas juntamente com o tempo acumulado gasto para reparar as falhas auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

O período de coleta de dados do MTBF de cada uma das oito linhas foi de janeiro a julho de 2016 e foram estratificados as quantidades de falhas e o tempo entre as falhas de cada equipamento presente nas linhas de produção. Foram coletados também os tempos de parada de produção que não foram ocasionados devidos aos problemas de manutenção, como por exemplo: falta de líquido para envase, indisponibilidade de energia elétrica, falta de latas ou garrafas, falta de mão-de-obra, etc.

Com base nos dados coletados foi possível identificar qual linha de produção tinha o pior MTBF e qual o equipamento dela continha o MTBF mais baixo dentre os demais equipamentos da área. Deste modo, priorizou-se o estudo no equipamento de maior impacto no indicador MTBF.

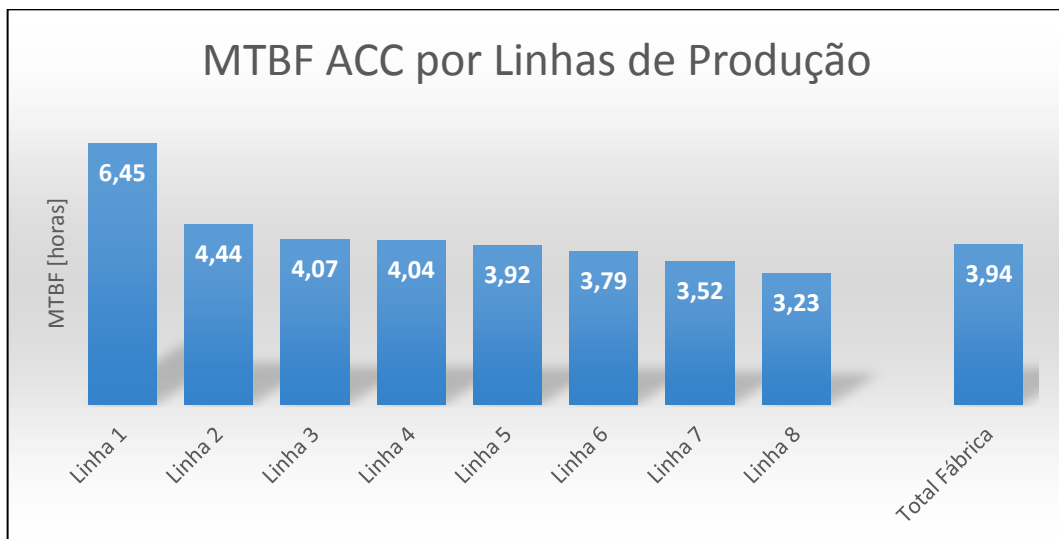
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE DADOS

Os dados abaixo foram retirados de um sistema corporativo existente na empresa e que mostra os MTBFs de todas as filiais do Brasil, com as subdivisões das respectivas linhas de produção e seus equipamentos. Este sistema tem interface com outro sistema onde são feitos os apontamentos de parada de cada equipamento, o motivo que gerou a parada, data e horário das paradas, horas de produção, paradas de produção por demais motivos e também a eficiência da linha. O MTBF de cada linha é calculado dividindo as horas totais de operação que ela estava planejada operar pelo número total de falhas que seus equipamentos apresentaram.

No gráfico da Figura 11 são apresentados os MTBFs acumulados das oito linhas de produção da filial de Jacareí referente ao período de janeiro à julho de 2016.

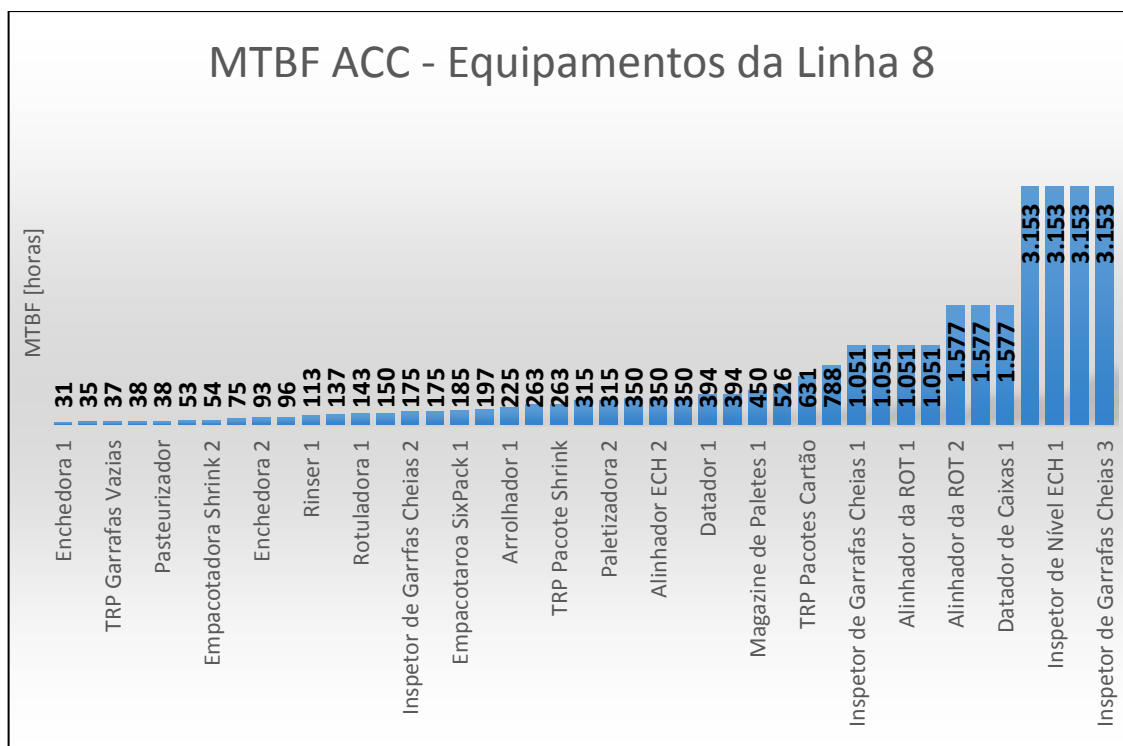
Figura 11 - MTBF acumulado das linhas de produção da Filial de Jacareí.



Fonte: Produção da própria autora.

A partir da análise do gráfico da Figura 15 verificou-se que a linha 8 tem o pior indicador e, portanto, foi analisado qual de seus equipamentos estava impactando mais na queda do MTBF. Para isso foi estratificado de janeiro a julho de 2016 o tempo médio entre falhas acumulado de cada equipamento da linha 8.

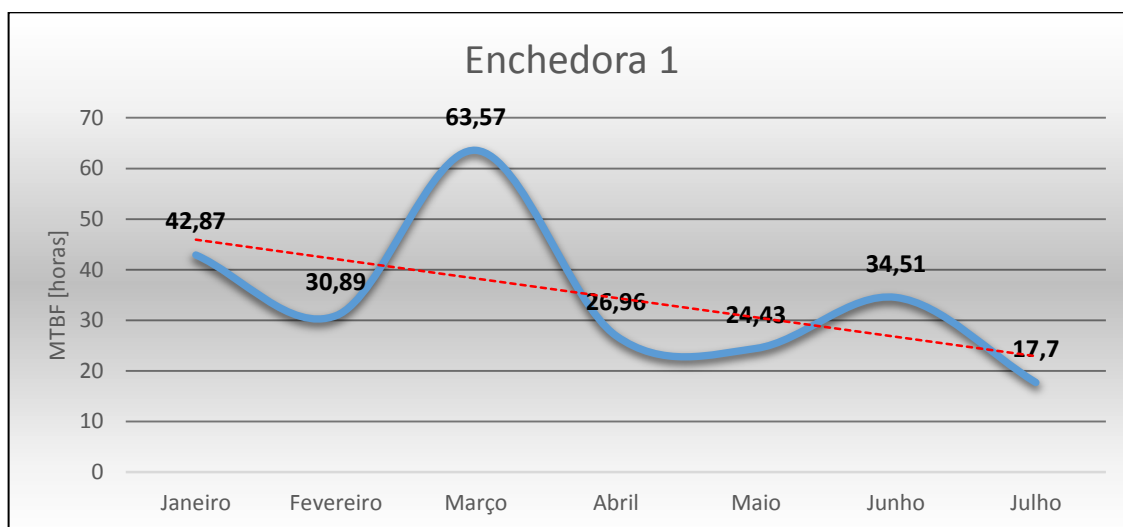
Figura 12 - MTBF acumulado dos equipamentos da linha 8.



Fonte: Produção da própria autora.

Analisando o gráfico da Figura 12 verificou-se que a Enchedora 1 tem o MTBF mais baixo entre os equipamentos da linha 8. Para confirmar se o estudo de confiabilidade deveria ser de fato feito na Enchedora 1, foi plotado um gráfico com os valores mensais do indicador ao longo dos 6 meses de coleta e averiguado sua curva de tendência linear.

Figura 13 - Tendência linear do MTBF da Enchedora 1 da linha 8.



Fonte: Produção da própria autora.

A curva de tendência linear indica que há uma propensão do MBTF da Enchedora 1 continuar caindo se nada for feito para corrigir os problemas.

Para qualquer das áreas de envase o equipamento considerado gargalo é sempre a Enchedora. Toda a modulação de velocidade da linha é feita em cima dela de forma que os equipamentos que a antecedem tenham um fluxo maior de garrafas que a Enchedora consegue encher, dessa forma nunca faltarão vasilhames para envasar e são construídos os “pulmões” da linha. O contrário funciona para os equipamentos posteriores a ela, as velocidades deles devem ir aumentando gradativamente à medida que vão se distanciando da Enchedora, pois não se deve pará-la por fluxo insuficiente de saída dos produtos para o armazém. Manter a bebida por muito tempo em espera dentro da Enchedora pode causar perturbação na qualidade do produto final e por isso, é tão importante que a Enchedora seja o equipamento mandatório ao estabelecer as velocidades de trabalho.

Sendo assim, qualquer falha que acontece na Enchedora irá impactar a eficiência de produção de uma linha, a não ser que o defeito seja corrigido rapidamente ao ponto dos “pulmões” de garrafas não se esvaziarem por completo.

Dadas estas condições fica incontestável a realização do estudo de confiabilidade na Enchedora 1 da linha 8.

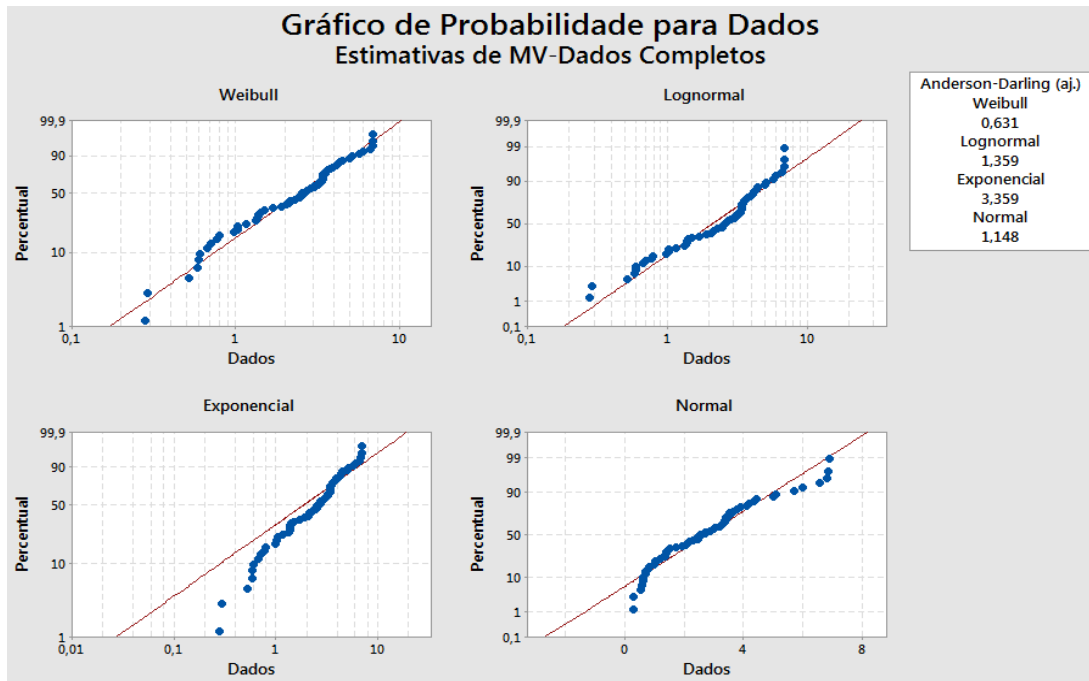
Conforme citado anteriormente, esta empresa possui um sistema em que todas as paradas de produção devem ser relatadas e especificadas o que aconteceu, porque aconteceu, quando e onde aconteceu. Por meio desse banco de dados foi possível obter o tempo entre as falhas ocorridas na Enchedora 1 no período de janeiro a julho de 2016. Para conseguir informações confiáveis e que representassem a realidade foi necessário um tratamento nos dados coletados direto do sistema, pois era preciso retirar os tempos em que a máquina ficou parada por qualquer motivo que não fosse uma falha de manutenção ou ainda os períodos em que a máquina não funcionou porque não havia programação de produção. Dessa forma, o tempo entre uma falha e outra só seria contabilizado quando houvesse uma parada de manutenção não programada.

Antes de realizar a modelagem dos tempos até a falha, do intervalo ideal de manutenção e de plotar a curva de taxa de falha da Enchedora 1, foi executado o teste Anderson-Darling no software Minitab[®] 17 para definir qual a melhor distribuição que reflete as características de confiabilidade ao longo do tempo da máquina em questão.

Usando os valores de tempo entre falhas em horas e a censura por tempo, do tipo I ou censura à direita, foram plotados os seguintes gráficos da Figura 14. Um conjunto de dados é

dito censurado à direita quando existir uma ou mais unidades para as quais só se conhece o limite inferior do tempo até a falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Figura 14 - Teste Anderson-Darling realizado no software Minitab® 17 com os tempos entre falhas da Enchedora 1.

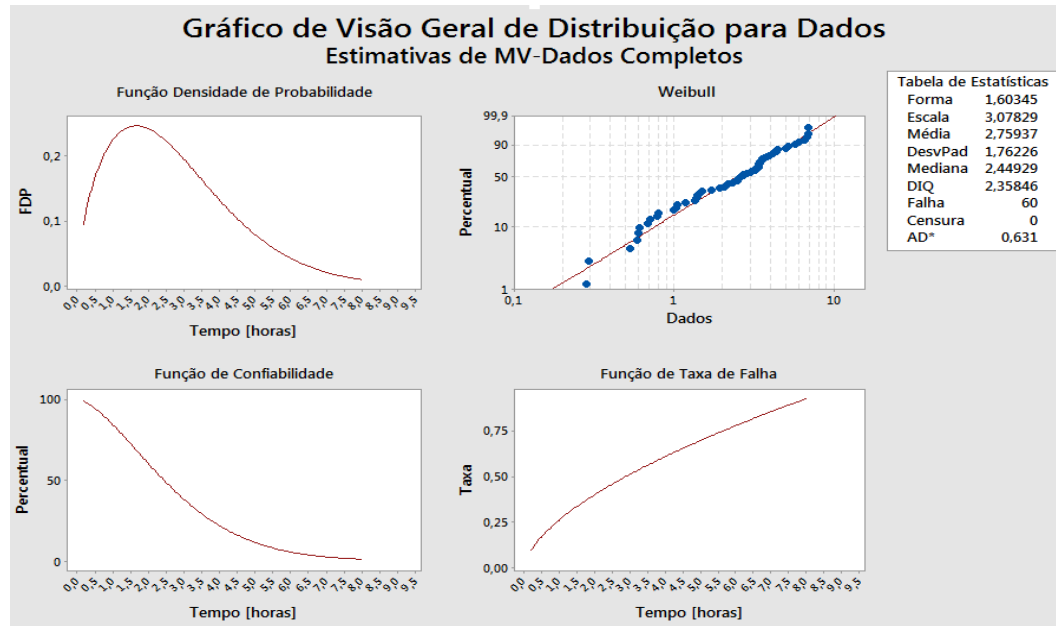


Fonte: criado pela autora utilizando o Minitab® 17.

Os gráficos da Figura 14 serviram para estabelecer a distribuição Weibull como a mais eficaz para representar os dados dos tempos entre falhas coletados.

Definida qual é a distribuição ideal, criou-se os gráficos da Figura 15: FDP, função de confiabilidade e taxa de falha da máquina em estudo.

Figura 15 - Gráficos de FDP, função confiabilidade e taxa de falha da Enchedora 1.



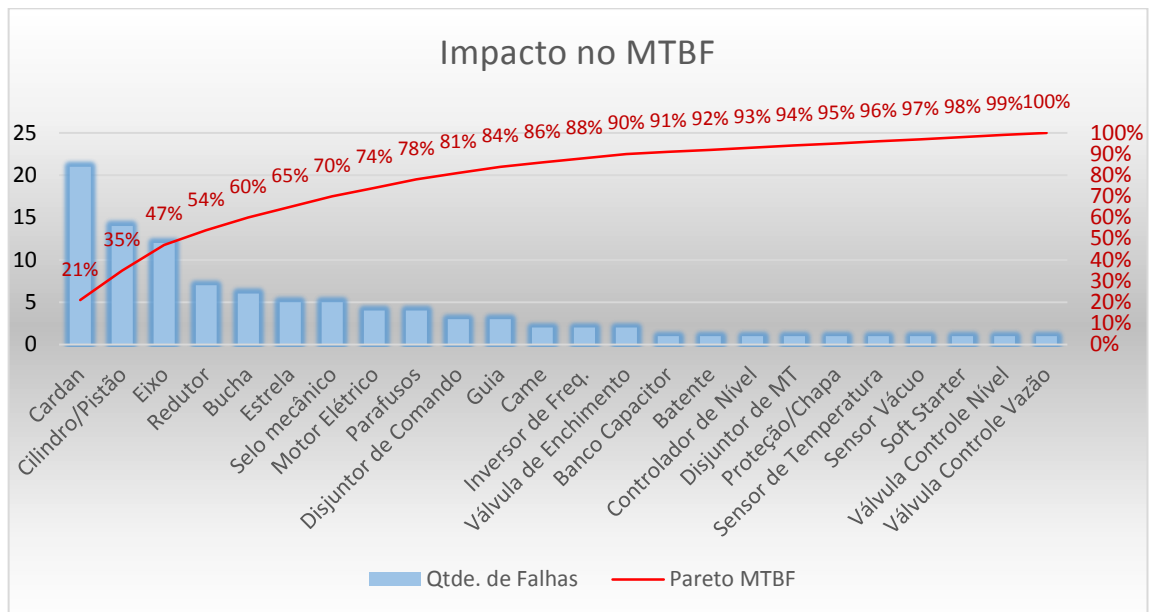
Fonte: criado pela autora utilizando o Minitab® 17.

O próprio Minitab® 17 calculou os parâmetros de forma β e de escala η . De acordo com o gráfico da Figura 15 de Função Confiabilidade da Enchedora 1 o parâmetro $\beta \cong 1,6035$ e isto indica que a taxa de falha do equipamento está crescendo, estipulando que a vida útil da máquina está associada ao período de desgaste ($\beta > 1$), conforme curva da banheira. No entanto, este equipamento é relativamente novo e não deveria apresentar falhas por desgaste natural, o que sustenta a má execução dos planos preventivos existentes e até mesmo a falta de uma inspeção mais minuciosa que poderia ter detectado anomalias ou avarias nos subconjuntos e componentes antes que eles quebrassem.

Para atuar nos subconjuntos ou componentes da Enchedora 1 que mais falhavam, fez-se uma estratificação para criar o diagrama de Pareto. Este diagrama serviu para hierarquizar e indicar onde deveria ser concentrada a aplicação da ferramenta FMEA, estabelecendo novas rotinas e procedimentos de manutenção para estes subconjuntos ou componentes.

O diagrama de Pareto da Figura 16 mostra que cerca de 80% das falhas que aconteceram na Enchedora 1 entre o período de janeiro a julho de 2016 ocorreram em 10 de seus subconjuntos ou componentes. E devido a isto, determinou-se a análise do FMEA para estes itens permitindo um planejamento mais eficaz da manutenção para evitar ou diagnosticar as falhas.

Figura 16 - Diagrama de Pareto das falhas nos subconjuntos/componentes da Enchedora 1 da linha 8.



Fonte: Produção da própria autora.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO FMEA

As áreas participantes do desenvolvimento do FMEA foram da Engenharia (mecânica, elétrica e automação), Produção e Especialistas de Manutenção/Confiabilidade. A equipe multidisciplinar avaliou que a influência dos efeitos sobre o processo foram os principais motivos de indisponibilidade da Enchedora 1 no período de janeiro a julho de 2016.

Paradas não programadas afetam diretamente a qualidade do produto, podem trazer riscos à segurança e meio ambiente como obviamente afetam a produtividade da linha.

Com a definição dos principais subconjuntos ou componentes que mais falharam, foram levantadas as causas principais e suas ocorrências por meio do histórico do próprio sistema de apontamento de paradas, onde para cada parada relatada há um campo de justificativa que deve ser preenchido com o motivo da indisponibilidade da linha.

Para cada causa foi proposta uma maneira de atenuação ou detecção que permitisse a equipe de manutenção se antecipar na solução do problema. Para os itens que tiveram o RPN alto, foram elaboradas estratégias mais completas e com um grau elevado de garantia de detecção ou prevenção.

Para cada subconjunto ou componente da Enchedora 1 da linha 8, foi aplicado a ferramenta FMEA, exceto para os itens parafusos e disjuntor de comando, pois durante a

análise dos efeitos, causas, ocorrências e meios de detecção verificou-se que já existe um plano de operação para reapertar os parafusos da máquina mensalmente ou sempre que necessário e então foi feita uma revisão neste procedimento para adicionar os parafusos que apresentaram problemas de acordo com o histórico de falhas. Além disso, no decorrer do estudo foi averiguado que os apontamentos feitos para o disjuntor de comando foram erroneamente relatados, pois o disjuntor cumpriu sua função de desarme quando a linha apresentou um pico de corrente, ou seja, deveria ser avaliada a instabilidade da rede elétrica de alimentação.

Dessa forma, são apresentadas as planilhas dos oito subconjuntos/componentes que mais falharam.

Figura 17 - Planilha FMEA para Selo Mecânico.

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Realizar a vedação da bomba.									
Subconjunto/Componente: Selo mecânico				Falha Funcional: Não realizar a vedação e permitir entrada de ar na bomba									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Ruptura/rachadura /desgaste prematuro do selo	Vazamento e perda de pressão na bomba	8	Temperatura do fluido elevada	1	Não existe	7	56	Não existe	Novo Plano de Inspeção de bombas mensal (termografia)	8			
			Material do selo não é adequado para o tipo de fluido	4	Não existe	8	256	Não existe	Levantar material compatível de acordo com manual do fabricante da bomba e fluido utilizado, cadastrar item para compra e colocar em estoque	8			
Aquecimento do selo	Desgaste prematuro do selo e consequente vazamento e perda de pressão na bomba	7	Lubrificação inadequada	2	Não existe	7	98	Não existe	Novo Plano de Lubrificação mensal	7			
			Vibração excessiva da bomba	3	Não existe	4	84	Não existe	Novo Plano de Inspeção de bombas mensal (análise de vibração)	7			
			Temperatura do fluido elevada	1	Não existe	7	49	Não existe	Novo Plano de Inspeção de bombas mensal (termografia)	7			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 18 - Planilha FMEA para Motor de indução trifásico (1/3).

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Fornecer potência para movimentação do sistema de transmissão da Enchedora.									
Subconjunto/Componente: Motor de indução trifásico				Falha Funcional: Não fornecer potência necessária para as condições de funcionamento do sistema de transmissão da									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Degradação do isolamento da bobina do estator	Diminuição da resistência ôhmica do motor	6	Temperatura elevada do motor	7	Não existe	7	294	Não existe	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (termografia)	6			
			Umidade excessiva	2	Visual	2	24	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	Colocado observação no check-list de inspeção e assunto reforçado com os operadores	6			
Desequilíbrio da tensão do motor	Aquecimento do motor	6	Desequilíbrio na rede elétrica	7	Não existe	8	336	Não existe	Instalação de retificadores nas saídas das subestações (proposta sendo avaliada - necessário alto investimento)*	6			
			Distribuição de carga trifásica desigual	6	Não existe	8	288	Não existe	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (verificação dos parâmetros elétricos e termografia)	6			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 19 - Planilha FMEA para Motor de indução trifásico (2/3).

Queima do motor	Parada do processo de produção	8	Temperatura elevada do motor	7	Não existe	7	392	Não existe	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (termografia)	8			
			Travamento do motor	5	Não existe	2	80	Não existe	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (análise de vibração)	8			
			Aterramento ineficiente	5	Não existe	8	320	Não existe	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (verificação dos parâmetros elétricos e termografia)	8			
			Sobrecarga mecânica	2	Não existe	4	64	Partida do motor com inversor de frequência	Novo Plano de Manutenção e de inspeção de motores mensal (verificação dos parâmetros elétricos)	8			
Rotor excêntrico/ desbalanceado	Alta vibração no eixo do motor	6	Desgaste mecânico	2	Não existe	7	84	Plano preventivo	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (análise de vibração)	6			
			Falta ou excesso de massa	2	Não existe	7	84	Não existe		6			
			Quebra da aleta do rotor	2	Não existe	7	84	Plano preventivo	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (termografia)	6			
Aquecimento do motor	Degradação do isolamento da bobina do estator e rolamentos	6	Ventoinha quebrada	5	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	3	90	Não existe	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (termografia)	6			
			Excesso de sujeira	5	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	2	60	Plano preventivo		6			
			Obstrução da passagem da ventilação do motor	2	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	2	24	Plano preventivo	Assunto reforçado com os operadores para realização da inspeção	6			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 20 - Planilha FMEA para Motor de indução trifásico (3/3).

Falha no encoder (sensor)	Perda de sincronismo e possível parada de máquina	8	Mau contato na conexão	6	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha - Visual e check da temperatura	4	192	Plano preventivo	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (termografia)	8			
			Vibração	3	Não existe	6	144	Não existe	Novo Plano de Manutenção e de Inspeção de motores mensal (análise de vibração)	8			
			Umidade excessiva	2	Visual	2	32	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	Colocado observação no check-list de inspeção e assunto reforçado com os operadores	8			
Falha no freio do motor	Perda de sincronismo da máquina	8	Desgaste da lona do freio	6	Não existe	8	384	Não existe	Inserir atividade para verificação e correção da distância do entreferro no Novo Plano de manutenção de motores*	8			
			Perda de tensionamento das molas	6	Não existe	8	384	Não existe	Inserir atividade periódica para troca da mola no Novo Plano de manutenção de motores*	8			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 21 - Planilha FMEA para Eixo (1/2).

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Fornecer potência para movimentação do sistema de transmissão da Enchedora.									
Subconjunto/Componente: Eixo				Falha Funcional: Não fornecer potência necessária para as condições de funcionamento do sistema de transmissão da									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Quebra do Eixo	Parada do processo de produção	8	Fadiga	5	Não existe	9	360	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Sobrecarga mecânica	1	Não existe	7	56	Partida do motor com inversor de frequência		8			
			Oxidação	6	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	2	96	Não existe	Colocado observação no check-list de inspeção e assunto reforçado com os operadores	8			
Desalinhamento do Eixo	Perda de sincronismo da máquina / Baixa eficiência na transmissão do torque	8	Montagem incorreta	5	Alinhamento é verificado com relógio comparador ao final da instalação	2	80	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Sobrecarga mecânica	1	Não existe	7	56	Partida do motor com inversor de frequência		8			
			Arrancadas bruscas	1	Não existe	2	16	Partida do motor com inversor de frequência		8			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 22 - Planilha FMEA para Eixo (2/2).

Travamento do Eixo	Perda de sincronismo da máquina / Baixa eficiência na transmissão do torque	8	Empenamento do eixo	6	Não existe	6	288	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Montagem incorreta	5	Alinhamento é verificado com relógio comparador ao final da instalação	2	80	Não existe		8			
Oxidação do Eixo	Desgaste prematuro do eixo	3	Contato com produtos químicos	3	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	2	18	Não existe	Assunto reforçado com os operadores para realização da inspeção	3			
			Umidade excessiva	3	Visual	2	18	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	Colocado observação no check-list de inspeção e assunto reforçado com os operadores	3			
Vibração excessiva do Eixo	Aumento da temperatura do eixo	6	Desalinhamento do eixo	7	Não existe	6	252	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	6			
			Folga na montagem	6	Após a montagem é verificado se há folgas no sistema	2	72	Não existe		6			
Empenamento	Perda de sincronismo da máquina / Baixa eficiência na transmissão do torque	8	Sobrecarga mecânica	1	Não existe	7	56	Partida do motor com inversor de frequência		8			
			Acoplamento de massa não balanceada no eixo	6	Não existe	6	288	Não existe		8			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 23 - Planilha FMEA para Redutor (1/2).

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Reduzir velocidade de entrada e aumentar torque de saída.									
Subconjunto/Componente: Redutor				Falha Funcional: Não reduzir velocidade de entrada ou aumentar torque de saída.									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Quebra/Travamento do Redutor	Perda de sincronismo da máquina e parada do processo de produção	8	Fixação deficiente	5	Inspeção feita durante as	4	160	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Engrenagem quebrada	7	Não existe	8	448	Não existe		8			
			Rolamento quebrado	7	Não existe	8	448	Não existe		8			
			Desgaste dos componentes internos devido ao uso óleo lubrificante contaminado	7	Não existe	8	448	Plano preventivo	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura) e Novo Plano de Lubrificação	8			
Vazamento de óleo no redutor	Desgaste prematuro dos componentes / Aquecimento do Redutor	6	Selo mecânico danificado ou mau posicionado	6	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	8	288	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	6			
			Eixo empenado	2	Não existe	4	48	Não existe		6			
			Utilização de óleo lubrificante incorreto	6	Não existe	8	288	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura) e Novo Plano de Lubrificação	6			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 24 - Planilha FMEA para Redutor (2/2).

Aquecimento	Altera as propriedades do óleo lubrificante	5	Lubrificação inadequada	7	Não existe	8	280	Plano preventivo	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura) e Novo Plano de Lubrificação	5			
			Utilização de óleo lubrificante incorreto	6	Não existe	8	240	Não existe		5			
			Vibração	6	Não existe	7	210	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	5			
Vibração excessiva no Redutor	Aumento da temperatura do Redutor	6	Desalinhamento do eixo	5	Não existe	5	150	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	6			
			Eixo empenado	2	Não existe	4	48	Não existe		6			
			Folga no rolamento	3	Não existe	8	144	Não existe		6			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 25 - Planilha FMEA para Cardan (1/2).

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Transmitir torque do motor para o redutor.									
Subconjunto/Componente: Cardan				Falha Funcional: Não transmitir o torque do motor para o redutor.									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Travamento entre os componentes do Cardan	Vibração e desgaste prematuro nos componentes do Cardan/ Perda de sincronismo entre os eixos / Baixa eficiência na transmissão do torque	8	Falha na lubrificação dos componentes	7	Não existe	8	448	Plano Preventivo	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura) e Novo Plano de Lubrificação	8			
			Utilização de lubrificante incorreto	7	Não existe	8	448	Não existe		8			
			Desalinhamento do Cardan	4	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	6	192	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
Quebra da Cruzeta	Parada do processo de produção	8	Sobrecarga mecânica	1	Não existe	7	56	Acompanhamento da potência do motor	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Arrancada bruscas	1	Não existe	2	16	Partida do motor com inversor de frequência		8			
			Desalinhamento do Cardan	4	Inspeção feita durante as	6	192	Não existe		8			
			Lubrificação inadequada (frequência e modo de aplicação)	7	Não existe	8	448	Plano Preventivo	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura) e Novo Plano de Lubrificação	8			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 26 - Planilha FMEA para Cardan (2/2).

Empenamento do Cardan	Perda de sincronismo entre os eixos / Baixa eficiência na transmissão do torque	8	Sobrecarga mecânica	1	Não existe	7	56	Partida do motor com inversor de frequência	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Arrancada bruscas	1	Não existe	2	16	Partida do motor com inversor de frequência		8			
Desgaste da cruzeta e dos seus rolamentos	Vibração e folgas excessivas, podendo causar perda de ajuste do movimento do Cardan	6	Lubrificação inadequada (frequência e modo de aplicação)	7	Não existe	8	448	Plano Preventivo	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura) e Novo Plano de Lubrificação	6			
			Utilização de lubrificante incorreto	7	Não existe	8	448	Não existe		6			
Desalinhamento do Cardan	Perda de sincronismo entre os eixos / Baixa eficiência na transmissão do torque	8	Fixação deficiente	2	Inspeção feita durante as manutenções semanais de linha	4	64	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Sobrecarga mecânica	1	Não existe	7	56	Partida do motor com inversor de frequência		8			
			Arrancada bruscas	1	Não existe	2	16	Partida do motor com inversor de frequência		8			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 27 - Planilha FMEA para Cilindro/Pistão.

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Elevar a garrafa para enchê-la com a bebida líquida									
Subconjunto/Componente: Cilindro/Pistão				Falha Funcional: Não elevar a garrafa o suficiente para enchê-la									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Fixação deficiente	Falha na elevação da garrafa	8	Falha na colocação do Cilindro/Pistão	4	Montagem é verificada logo após a instalação	2	64	Não existe	Revisar e treinar os operadores no Procedimento de troca de Cilindro/Pistão	8			
			Desgaste do suporte do Cilindro/Pistão	2	Condições verificadas durante manutenções semanais	2	32	Plano preventivo	Adicionar no procedimento e check de inspeção atividade para verificar desgastes no suporte do Cilindro/Pistão	8			
Desgaste/Ruptura do reparo	Vazamento de ar e óleo / Perda de pressão no sistema / Sem elevação da garrafa	8	Material do reparo não é adequado para o tipo de fluido ou pressão de trabalho	7	Não existe	5	280	Não existe	Levantar material compatível (fluido e pressão) de acordo com manual do fabricante da Enchedora - Cadastrar item para compra	8			
			Pressão do Cilindro/Pistão acima da nominal	2	Alarme no supervisor	2	32	Pressão é controlada via supervisor	Orientar operadores como e onde é verificada a pressão utilizada nos Cilindros	8			
			Cilindro/Pistão com cortes, saliências ou partículas estranhas	2	Condições verificadas durante manutenções semanais	2	32	Não existe	Adicionar no procedimento e check de inspeção atividade para verificar condições do Cilindro/Pistão	8			
			Óleo lubrificante contaminado	3	Não existe	7	168	Não existe	Novo Plano de Lubrificação	8			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 28 - Planilha FMEA para Estrela.

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Direcionar e alterar o sentido das garrafas									
Subconjunto/Componente: Estrela				Falha Funcional: Não direcionar as garrafas para a máquina ou Estrela seguinte									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Desalinhamento / Perda de ajuste	Perda de sincronismo com a rotação da Enchedora / Possível quebra de garrafas / Parada do processo de produção	8	Perda de sincronia no sistema de transmissão da máquina	7	Não existe	8	448	Não existe	Implantação dos sensores de monitoramento online (vibração e temperatura)	8			
			Quebra/Folga da Bucha	2	Não existe	8	128	Não existe		8			
Rachadura/Cortes na borracha da Estrela	Possível quebra de garrafas	6	Choque de material cortante contra a Estrela	1	Não existe	1	6	Não existe	Não necessário	6			
			Ressecamento por envelhecimento da borracha da Estrela	1	Controle visual diário	1	6	Não existe	Não necessário	6			

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 29 - Planilha FMEA para Bucha.

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis													
Equipamento: Enchedora 1				Função: Reduzir o atrito entre as partes mecânicas									
Subconjunto/Componente: Bucha				Falha Funcional:									
Equipe:				Data:									
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	Causa Potencial	OCORRÊNCIA	Controle Atual de Detecção	DETECÇÃO	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações recomendadas	Sev.	Oc.	Det.	RPN
Desgaste da bucha / Perda de ajuste	Perda de sincronismo com a rotação da Enchedora / Possível quebra de garrafas / Parada do processo de produção	8	Falta de lubrificação	2	Não existe	2	32	Plano de lubrificação semanal da máquina	Revisar e treinar operadores no plano de lubrificação da máquina, pois este item é lubrificado pelo sistema de a lubrificação automática da Enchedora	8			
			Velocidade de rotação elevada	2	Através do supervisor	1	16	Velocidade controlada por supervisor e motor é acionado com inversor de frequência	Não necessário	8			

Fonte: Produção da própria autora.

4.3 MEDIDAS DE CONTROLE

A partir do FMEA e dos demais problemas que já haviam sido levantados na fábrica, surgiram propostas para identificar ou prevenir os modos de falhas, como a revisão de Planos de Manutenção ou Operação, criação de novos Planos de Manutenção ou Plano de Inspeção e ainda um projeto de monitoramento online das máquinas críticas.

Das principais medidas adotadas, vale destacar as mais elaboradas que servirão para diminuir os itens com alto RPN. Foi estipulado que RPNs com valores acima de 200 são críticos e precisavam de medidas de controles mais assertivas e confiáveis.

Plano de Inspeção de bombas: este plano foi criado inicialmente com uma frequência mensal e exemplifica os principais pontos de uma bomba centrífuga que devem ser inspecionados, além de definir parâmetros e limites para estabelecer se é necessária a abertura de uma nota de manutenção para corrigir uma anomalia existente que irá culminar em uma parada de manutenção não programada. O Plano contém quem deve realizar a inspeção (técnico elétrico ou mecânico), o que deve ser inspecionado, como deve ser inspecionado, que ferramentas deverão ser usadas (câmeras termográficas, medidores de vibração, etc.), quais parâmetros e seus respectivos limites de controle deverão ser considerados para avaliar se há um problema na máquina e o que deve ser feito caso seja encontrado algum defeito. Este Plano tem o foco em prevenção de falhas e de melhorar a eficiência energética, ou seja, também são avaliados itens que causam baixo rendimento do equipamento. Os principais parâmetros averiguados são: temperatura, tensão, corrente elétrica, vibração, sujidades, condições das conexões, etc.

Plano de Manutenção e Plano de Inspeção de motores elétricos: o Plano de inspeção de motores elétricos é mensal e lista os principais pontos que devem ser inspecionados em motores elétricos, além de definir os parâmetros e limites que deverão ser avaliados para determinar se há necessidade de abrir uma nota de manutenção ou não. Assim como o Plano de Inspeção de bombas, este plano também contém quem deve realizar a inspeção (técnico elétrico ou mecânico), o que deve ser inspecionado, como deve ser inspecionado, que ferramentas deverão ser usadas (câmeras termográficas, medidores de vibração, multímetros, etc.), quais parâmetros e seus respectivos limites de controle deverão ser considerados para avaliar se há um problema na máquina e o que deve ser feito caso seja encontrado algum defeito. Este Plano tem o foco em prevenção de falhas e conservação do motor de forma a garantir seu bom funcionamento. Os principais parâmetros averiguados são: temperatura, tensão, corrente elétrica, vibração, resistência ôhmica, sujidades, condições das conexões, etc.

Plano de Lubrificação: a frequência deste plano depende da máquina na qual ele está aplicado. O Plano de Lubrificação contém frequência de lubrificação, tipos de lubrificantes que devem ser utilizados para cada tipo de equipamento, estabelece cores de identificação para os bicos graxeiros e as bombas de lubrificação de acordo com o tipo de óleo utilizado, exemplifica as formas corretas de armazenamento do produto e de lubrificação que não contaminam os óleos e graxas. Ao receber o produto do fornecedor há a orientação para testes simples e rápidos que verificam se o lubrificante está contaminado, garantindo que o produto esteja de acordo com o que foi especificado. O foco deste Plano é prevenir falhas decorrentes da má lubrificação ou a falta de lubrificação, além de garantir a conservação dos equipamentos conforme determina o fabricante.

Implantação dos sensores de monitoramento online: este projeto de monitoramento online nada mais é que a instalação de sensores de temperatura e vibração nas principais máquinas de uma linha de produção. Um estudo previamente realizado com a equipe de especialistas de manutenção/confiabilidade determinou que, no caso da Enchedora, cerca de 12 a 13 pontos devem conter um sensor de forma que eles consigam mapear qualquer nucleação de um defeito na máquina. Os principais pontos de instalação estão no sistema de transmissão da máquina, ou seja, no cardan, eixo, motor elétrico, redutor, rolamentos e mancais, coincidindo com alguns subconjuntos/componentes encontrados neste trabalho como aqueles que mais falham na Enchedora 1 da linha 8. O projeto tem o objetivo de identificar estágios iniciais de falha e permitir a atuação da equipe de manutenção antes que o equipamento pare, reduzindo custos e indisponibilidades. Em um supervisório será possível ver as condições do equipamento monitorado.

As implantações dos sensores de monitoramento online não foram realizadas só na Enchedora 1, mas também em todos os equipamentos que são aplicáveis. O projeto de monitoramento já passou da fase de teste e está agora em expansão na fábrica e a Enchedora 1 da linha 8 recebeu a instalação dos sensores no mês de outubro de 2016.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando a Figura 15, o gráfico de Densidade de Probabilidade, tem-se que a concentração de falhas da Enchedora 1 ocorre em um período de aproximadamente 1,5 horas de funcionamento, um valor baixo sabendo que a linha funciona 24 horas por dia. Estipulando uma confiabilidade de 85%, a Enchedora 1 deveria sofrer uma intervenção a cada 1 hora de funcionamento para evitar paradas por falhas maiores e mais caras de se consertar. A

manutenção programada das linhas de envase é semanal, o que não estava sendo suficiente para sanar os problemas e por isso haviam duas escolhas a serem tomadas, ou diminuía-se o tempo para a manutenção programada, evitando assim paradas emergenciais sem atuarmos nas causas ou então realizava-se um estudo mais aprofundado dos problemas baseados nos conceitos de confiabilidade e se estabelecia novas maneiras de prevenção e conservação do equipamento. A segunda opção serviu como fundamento para este trabalho.

A maioria das ações propostas pelo FMEA foi implantada em outubro, o que ainda não permite comparações representativas e confiáveis. Foi definido que cada medida será acompanhada por cerca de seis meses para poder concluir se foi efetiva ou não e se será necessária revisão do FMEA. Apesar da falta de resultados quantitativos, notou-se que no período de um mês da implantação das medidas de controle não ocorreram falhas oriundas de lubrificação e que houve um aumento considerável de abertura de notas de manutenção proveniente das novas inspeções.

Sabe-se que inicialmente muitos problemas serão relatados, e isto é fruto dos novos planos de manutenção e inspeção aplicados, pois após a realização do FMEA, parâmetros e condições que não eram checados anteriormente passaram a ser monitorados.

O estudo realizado trouxe uma visão mais ampla do cenário em que a empresa se encontrava em relação à manutenção, visto que era necessário ter planos de manutenção mais detalhados baseados em parâmetros e qualidade de execução. Com a realização deste trabalho foi possível aplicar os conceitos de Engenharia de Confiabilidade e da ferramenta FMEA, iniciando um processo de transição nas estratégias de manutenção adotadas pela empresa.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi elaborado com o intuito de favorecer a implantação dos conceitos de Engenharia de Confiabilidade na empresa em questão, mostrando que a introdução de tal metodologia é benéfica para as estratégias e gestão da manutenção adotada pela fábrica. O envolvimento de uma equipe multidisciplinar para a criação do FMEA destaca que as análises das falhas, assim como seus tratamentos, devem ser realizadas em conjunto, de forma a otimizar o uso da ferramenta mapeando efeitos em todas as possíveis áreas afetadas.

A confiabilidade é uma ferramenta importante para a manutenção, e sua aplicação na indústria de bebidas permitiu identificar os principais modos de falha que afetavam a disponibilidade da linha de produção e tratar as falhas de forma eficaz.

Foi possível notar que apesar de existirem planos de manutenção para a Enchedora 1, eles não eram detalhados o suficiente para garantir uma execução com qualidade procedente da equipe técnica ou operacional. Nota-se que a utilização de parâmetros e definição de limites de controle evitou qualquer julgamento subjetivo por parte da equipe executante sobre as condições da máquina. Dessa forma, a realização deste trabalho implementou uma revisão, e até mesmo criação, dos procedimentos de manutenção, além de abordar novas maneiras para o monitoramento das condições dos equipamentos.

Por fim, após a realização do FMEA para os subconjuntos e componentes que apresentavam uma maior quantidade de falhas, foi avaliado que é possível expandir a análise dos efeitos e modos de falha para demais máquinas da indústria de bebidas, permitindo o mapeamento das falhas que mais impactam na disponibilidade das máquinas e a priorização das ações de controle de acordo com as situações de maior risco para o processo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. D.; COSTA, J. M. **Estratégias de gestão de obras de arte baseada e uma análise de risco segundo FMEA**. Porto: Seção de construções civis e FEUP Edições. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.
- BASSETTO, I. F. F. **Estudo de confiabilidade de compressores alternativos semi-herméticos de sistemas de refrigeração**. 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- BLOCH, H. P.; GEITNER, F. K. **Machinery failure analysis and troubleshooting**. Houston: GulfPublishingCompany, 1997, 677 p. v. 2.
- BIEHL, N. C.; SELLITTO, M. A. TPM e manutenção autônoma: estudo de caso em uma empresa da indústria metal-mecânica. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 15, n. 4, p. 1123-1147, out./dez. 2015.
- CARDOSO, I. A. P. **Desenvolvimento de método para seleção de políticas de manutenção baseado em análise de risco**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CARNAÚBA, E. R.; SELLITTO, M. A. Análise de confiabilidade e evolução de uma máquina de envase de leite UHT ao longo da curva da banheira. **Revista Liberato**. Novo Hamburgo, v. 14, n. 22, p. 113-238 jul./dez. 2013.
- CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. Manutenção centrada em confiabilidade (MMC): Análise quantitativa de um forno elétrico de indução. **Revista Produção Online**. Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 405-432, abr./jun. 2015
- COUGHLAN, P; COUGHLAN D. Action Research. Action research for operations management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- GARCIA, T. C. **Aplicação dos conceitos de RCM e a ferramenta FMEA no aumento de confiabilidade em equipamentos de uma indústria química**. 2013. 88 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.
- BRAIDOTTI JÚNIOR, J.W. A falha não é uma opção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 26., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ExpoUnimed, 2011.
- LAFFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001. 388 p.

LIMA, R. S. **TPM: total productivemaintenance**: curso de formação de multiplicadores. Belo Horizonte: Advanced Consulting and Training, 2000. 218 p.

MINITAB 17. **Software estatístico**. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 14 dez. 2016.

MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade**. São Paulo: Aladon LTDS, 2000. 426 p.

O'CONNOR, P. D. T. **Practical reliability engineering**. 5. ed. New York: John Wiley and Sons, 2012. 505 p.

PATTON, J. D. **Maintainabiliy and maintenance management**. New York: Instrument Society of America, 1994, 452 p.

SANTOS, N. A.; SELLITTO, M. A. Estratégia de manutenção e aumento da disponibilidade de um posto de compressão de gases na indústria petrolífera. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 77-103, jan./mar. 2016.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade**: manual de implantação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

TAVARES, L. A. **Excelência na manutenção**: estratégias, otimização e gerenciamento. Salvador: Casa da Qualidade Editora Ltda., 1996.

TOAZZA, G. F.; SELLITTO, M. A. Estratégia de manutenção preditiva no departamento gráfico de uma empresa do ramo fumageiro. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 15, n. 3, p. 783-806, jul./set. 2015.

VICENTE, P. G. **Análise da aplicabilidade da ferramenta FTA no estudo de falhas de manutenção em uma indústria**. 2012. 64 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

WYREBSKI, J. **Manutenção produtiva total**: um modelo adaptado. 1997. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel**. 2003. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANDERSON-DARLING. **A estatística**. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/data-concepts/anderson-darling/>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

BOTELHO, A. G. Otimização da frequência de inspeções em PSV usando análise estatística de dados. **Revista Produção Online**. Florianópolis, v. 15, n. 4, p. 1224-1250, out./dez. 2015.

GUZON, S. O. **Proposta de análise quantitativa de confiabilidade a partir de dados qualitativos provenientes da FMEA**. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Sistemas da Qualidade) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

SILVA, V. E. **Melhorias na manutenibilidade de sistemas de uma balsa de lançamento**. 2012. 67 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Estadual da Zona oeste, Rio de Janeiro.